ФИЗИЧЕСКОЕ ОБОЗРѢНІЕ

1901 г. ТОМЪ 2 No. 4

Очерки по спектральному анализу

В. А. Михельсона.

1. Законъ Кирхгоффа и лучеиспусканіе идеально-чернаго тѣла.

1. *Введеніе.*

Люди испоконъ вѣковъ видѣли радугу. Но только въ концѣ семнадцатаго вѣка Ньютонъ разложилъ бѣлый солнечный свѣтъ на его цвѣтныя составныя части и такимъ образомъ впервые искусственно создалъ и сознательно наблюдалъ *спектръ*. Послѣ Ньютона прошло еще цѣлое столѣтіе безъ существенныхъ успѣховъ въ ученіи о спектрахъ. Только въ началѣ девятнадцатаго вѣка, послѣ того какъ Фраунгоферъ открылъ большое *разнообразіе* въ строеніи различныхъ спектровъ, выражающееся въ различномъ видѣ и расположеніи спектральныхъ („*фраунгоферовыхъ*") линій, снова возникъ интересъ къ ученію о спектрахъ. Явился цѣлый рядъ „предшественниковъ Кирхгоффа", которые наблюдали много различныхъ явленій, но большею частью ложно ихъ толковали.

Наконецъ въ 1860 году Кирхгоффъ и Бунзенъ въ своихъ классическихъ изслѣдованіяхъ положили прочное основаніе новому отдѣлу естествознанія—спектральному анализу, который пускаетъ свои корни во всѣ отдѣлы физики и химіи и во многихъ отношеніяхъ можетъ считаться вѣнцомъ физико-химическихъ наукъ.

Съ тѣхъ поръ прошло 40 лѣтъ! Срокъ громадный, въ особенности, если принять во вниманіе современную быстроту развитія естественныхъ наукъ. Нѣкоторые отдѣлы физики за эти сорокъ лѣтъ совершенно преобразились, стали неузнаваемы; дру-

тіе отдѣлы физики и химіи, можно сказать, были созданы вновь и уже успѣли развиться въ самостоятельныя ученія. Такъ создалась физическая химія; электромагнитная теорія свѣта смѣнила френелевскую оптику, возникли и развились астрофизика и фотохимія и рядъ другихъ практическихъ примѣненій спектральнаго анализа. Между тѣмъ ученіе о спектрахъ и теперь, какъ сорокъ лѣтъ назадъ, находится еще только въ первой стадіи своего развитія.

Десятки ученыхъ изслѣдователей въ различныхъ странахъ работали и непрерывно работаютъ надъ развитіемъ этой интереснѣйшей области знанія. Методы наблюденія и измѣрительные приборы достигли совершенства, быть можетъ, въ тысячу разъ превышающаго точность инструментовъ Фраунгофера и Кирхгоффа. Число срисованныхъ, сфотографированныхъ и измѣренныхъ спектровъ, какъ земныхъ, такъ и небесныхъ источниковъ, до того велико теперь, что изученіе всѣхъ ихъ превышаетъ силы одного человѣка. И однако, несмотря на все это, можно смѣло сказать, что за все послѣднее сорокалѣтіе въ области спектральнаго анализа не было сдѣлано ни одного открытія, которое хотя бы въ отдаленной степени могло быть поставлено рядомъ съ открытіями Ньютона, Фраунгофера, Кирхгоффа и Бунзена. Эти геніальные изслѣдователи открыли новый міръ и, окинувъ его орлинымъ взоромъ, установили его общія очертанія и главнѣйшіе законы имъ управляющіе. Эти законы въ существенныхъ чертахъ остаются незыблемыми и въ настоящее время.

На долю преемниковъ Кирхгоффа и Бунзена, на долю нашего поколѣнія выпало детальное изслѣдованіе, подробная, такъ сказать, топографическая съемка вновь открытой области. При этомъ оказалось, что спектральныя явленія несравненно разнообразнѣе и сложнѣе, чѣмъ первоначально полагали первые ихъ изслѣдователи. Теперь уже накопилась такая масса „новыхъ фактовъ" и разрозненныхъ наблюденій, что, можетъ быть, только новому Ньютону удастся ихъ удовлетворительно систематизировать и свести къ простымъ и общимъ законамъ.

Пока же единственнымъ прочно обоснованнымъ и болѣе или менѣе общимъ закономъ, почти единственною руководящею нитью въ этихъ изслѣдованіяхъ остается законъ Кирхгоффа о пропорціональности между лучеиспускательною и лучепоглощательною способностью различныхъ тѣлъ для каждаго цвѣта (каждой длины волны) при опредѣленной температурѣ.

Отношеніе этихъ двухъ величинъ одинаковое для всѣхъ тѣлъ, свѣтящихъ подъ вліяніемъ одного лишь нагрѣванія, равно лучеиспускательной способности идеально-чернаго тѣла, т. е. такого тѣла, которое поглощаетъ вполнѣ всѣ падающіе на него лучи. Такихъ тѣлъ въ природѣ, конечно, не существуетъ, такъ какъ всѣ дѣйствительныя тѣла обладаютъ способностью хотя бы отчасти отражать или пропускать тѣ или другіе изъ падающихъ на нихъ лучей. Но въ нашихъ лабораторныхъ изслѣдованіяхъ мы можемъ съ неограниченнымъ приближеніемъ осуществлять идеально-черное тѣло, считая за таковое—небольшое отверстіе, ведущее въ закрытое со всѣхъ сторонъ непрозрачными (металлическими) стѣнками пустое пространство. Представьте себѣ небольшое окно безъ стекла, ведущее въ темное подземелье, или малый люкъ открытый въ трюмъ корабля: если снаружи смотрѣть на такое окно или люкъ, то они покажутся намъ вполнѣ „черными", независимо отъ того, какую окраску имѣютъ стѣны подземелья или трюма. И дѣйствительно можно сказать, что изъ всѣхъ лучей, входящихъ въ такое малое отверстіе, почти ни одинъ не будетъ выпущенъ обратно. Съ другой стороны, если нагрѣть до нѣкоторой высокой температуры металлическій пустой сосудъ съ очень малымъ отверстіемъ, то изъ этого малаго отверстія будетъ выходить лучистая энергія такого напряженія и такого состава, какая соотвѣтствуетъ лучеиспускательной способности вполнѣ чернаго тѣла при этой температурѣ. Эти соображенія естественно вытекаютъ изъ положеній Кирхгоффа, но на практикѣ ими стали пользоваться лишь въ самое послѣднее время. Теперь, благодаря изслѣдованіямъ Стефана, Больцмана, Лэнглея, В. Вина, Луммера, Пашена, Курльбаума и Планка, мы въ значительной степени приблизились къ познанію тѣхъ законовъ, которые управляютъ лучеиспусканіемъ „черныхъ" тѣлъ, т. е. къ законамъ измѣненія вполнѣ непрерывныхъ спектровъ при различныхъ условіяхъ.

Изложенію этихъ законовъ я посвящаю настоящій первый очеркъ. При этомъ я буду основываться главнымъ образомъ на изслѣдованіяхъ Кирхгоффа, Больцмана и В. Вина, отчасти же и на своихъ собственныхъ.

2. *О примѣненіи второго закона термодинамики.*

Выводъ закона Кирхгоффа, данный имъ самимъ, равно какъ и всѣ въ новѣйшее время полученныя слѣдствія этого закона ос-

новываются на принципѣ Карно-Клаузіуса, на второмъ законѣ термодинамики. Истинный же смыслъ и самая примѣнимость этого послѣдняго закона, какъ показали Максвелль, Гельмгольцъ и Больцманъ, коренятся въ *нестройности* тепловыхъ движеній. Поэтому и законъ Кирхгоффа приложимъ къ лучистой энергіи лишь постольку, поскольку послѣдняя является энергіею нестройныхъ движеній или нестройно распредѣленныхъ электромагнитныхъ возмущеній. Съ этой точки зрѣнія, т. е. на почвѣ электромагнитной теоріи свѣта характеристика нестройности всякой тепловой радіаціи была дана въ самое недавнее время М. Планкомъ [1]). Нестройность всякаго „естественнаго лучеиспусканія" (natürliche Strahlung) была имъ выяснена весьма удовлетворительно. Но, чтобы убѣдиться въ томъ, что всякое тепловое лучеиспусканіе обладаетъ въ большей или меньшей мѣрѣ свойствами *нестройности*, нѣтъ надобности принимать ту или другую гипотезу о природѣ свѣта: достаточно допустить, что второй законъ термодинамики не можетъ быть нарушенъ тѣмъ, что часть тепловой энергіи нагрѣтаго тѣла переходитъ въ лучистую энергію эфира.

Если бы изъ лучеиспусканія какого-бы то ни было источника даже возможно было выдѣлить идеально-монохроматическій и плоско-поляризованный лучъ, то и такой лучъ не былъ бы носителемъ энергіи *стройныхъ колебаній*, потому-что, будучи выдѣленъ (поляризаторомъ) изъ естественнаго луча, онъ весьма быстро и неправильно измѣнялъ бы амплитуду своихъ колебаній. Въ дѣйствительности же абсолютно-монохроматическій и поляризованный тепловой лучъ, несущій конечное количество энергіи,— физически невозможенъ. Такой лучъ могъ бы исходить только изъ тѣла безконечно высокой температуры. Нестройный характеръ всякой тепловой радіаціи сдѣлается понятнымъ, если мы вспомнимъ съ одной стороны чрезвычайную быстроту свѣтовыхъ колебаній, а съ другой—извѣстный фактъ невозможности получить явленія интерференціи между лучами, исходящими отъ двухъ различныхъ источниковъ. Опредѣленный зеленый лучъ, какъ извѣстно, приноситъ 600 билліоновъ колебаній въ секунду. Въ виду интерференцій высокихъ порядковъ, изслѣдованныхъ Майкельсономъ (A. A. Michelson), мы должны допустить, что болѣе милліона волнъ могутъ слѣдовать одна за другою вполнѣ

---

[1]) *M. Planck.* Irreversible Strahlungsvorgänge. Ann. d. Physik. I (1900) p. 1.

правильно, стройно. Но если даже всякій разъ по 10 милліоновъ колебаній совершаются правильно, то все-же при переходѣ отъ одной серіи правильныхъ колебаній къ другой могутъ и будутъ совершаться неправильныя измѣненія въ фазѣ, поляризаціи и амплитудѣ колебаній. Такихъ измѣненій въ секунду произойдетъ 60 милліоновъ, что совершенно неуловимо для нашихъ инструментовъ и вполнѣ достаточно для сообщенія радіаціи характера нестройности. Кромѣ того, слѣдуетъ считать вѣроятнымъ, что изъ непрерывнаго спектра (твердаго тѣла) никогда и никакими способами не удастся выдѣлить столь однородный пучокъ свѣта, какой Майкельсонъ получаетъ отъ электрически-раскаленныхъ паровъ кадмія.

Электромагнитные лучи Герца не имѣютъ *для насъ* характера нестройности, потому что мы можемъ уловить и прослѣдить почти каждое ихъ колебаніе въ отдѣльности. Но если мы представимъ себѣ наблюдателя, своими размѣрами въ милліоны разъ превышающаго человѣка, обладающаго въ милліоны разъ болѣе грубыми методами наблюденій и находящагося въ присутствіи многихъ билліоновъ разнообразныхъ герцевскихъ резонаторовъ и вибраторовъ, то такому наблюдателю и герцевскія колебанія могутъ показаться нестройными. Въ цѣломъ рядѣ весьма важныхъ изслѣдованій Больцманъ доказалъ, что *энтропія* можетъ служить одновременно мѣрою *нестройности* и величины *разсѣянія* энергіи. Слѣдовательно возрастаніе энтропіи, составляющее, какъ извѣстно, содержаніе второго закона термодинамики, можетъ быть формулировано и такъ: системы, подчиненныя второму закону, стремятся къ возможно большей нестройности и возможно большему разсѣянію энергіи. Только когда обѣ эти величины достигнутъ возможнаго при данныхъ условіяхъ максимума, система приходитъ въ равновѣсіе.

Изъ этого непосредственно слѣдуетъ, что лучистая энергія, свободно распространяющаяся въ неограниченномъ пространствѣ, никогда не можетъ прійти въ равновѣсіе: она неограниченно увеличиваетъ свою энтропію.

Совсѣмъ другое увидимъ, когда заключимъ нѣкоторое количество лучистой энергіи въ пространство, совершенно замкнутое непрозрачными стѣнками, напримѣръ достаточно толстою металлическою оболочкою. Въ этомъ случаѣ должно установиться нѣкоторое равновѣсіе: мыслимы различные виды *равновѣсій неустойчивыхъ*; физически осуществимо только *равновѣсіе устойчи-*

вое, соотвѣтствующее наибольшей (*полной*) нестройности лучистой энергіи.

Примѣры равновѣсій неустойчивыхъ:

1) Система стоячихъ монохроматическихъ волнъ. Если мы вообразимъ себѣ, что наше замкнутое пространство окружено идеальными, вполнѣ отражающими зеркалами, то температура этихъ зеркалъ будетъ безразлична: лучистая энергія вся останется въ видѣ таковой во внутренней средѣ (въ эѳирѣ).

Представимъ себѣ идеальный зеркальный цилиндръ наполненный параллельными лучами монохроматическаго свѣта, направленными параллельно оси цилиндра. Если наши лучи поляризованы и, если плоскія зеркальныя основанія цилиндра находятся другъ отъ друга на разстояніи въ точности равномъ цѣлому числу полуволнъ нашихъ лучей, то внутри нашего цилиндра установится вполнѣ стройное движеніе—именно система стоячихъ свѣтовыхъ волнъ съ рядомъ узловыхъ плоскостей, параллельныхъ основаніямъ цилиндра. Это движеніе будетъ стаціонарно, т. е. соотвѣтствовать нѣкоторому состоянію динамическаго равновѣсія. Но равновѣсіе это будетъ *крайне неустойчивое*. Достаточно ввести въ нашъ цилиндръ хотя бы малѣйшее разсѣвающее тѣло или даже только слегка нарушить параллельность между двумя основаніями цилиндра, чтобы система стоячихъ волнъ нарушилась, лучистая энергія во всемъ цилиндрѣ стала вполнѣ разсѣянною. Радіація сама собою перейдетъ изъ неустойчиваго стройнаго въ ниже описанное нестройное, но зато устойчивое состояніе.

Но возможно себѣ представить и такія измѣненія нашего цилиндра, относительно которыхъ заключенная въ немъ радіація окажется въ безразличномъ или даже въ устойчивомъ равновѣсіи. Такъ, если сдѣлаемъ одно изъ основаній цилиндра въ видѣ зеркальнаго поршня и будемъ весьма медленно перемѣщать его параллельно самому себѣ, то мы тѣмъ самымъ будемъ только передвигать положеніе послѣдней узловой плоскости. Количество эѳира внутри цилиндра будетъ возрастать, но такъ какъ возрастаніе это будетъ происходить непрерывно и весьма медленно, то нѣтъ основанія предполагать, чтобы *порядокъ* того гармоническаго колебанія, которое совершаетъ наша система, измѣнился (измѣненіе это могло бы совершиться только скачкомъ): число узловъ и полуволнъ, заключенныхъ внутри цилиндра, останется прежнимъ, а стало-быть длина каждой волны будетъ измѣняться

прямо пропорціонально длинѣ, т. е. линейнымъ размѣрамъ цилиндра.

Если вмѣсто цилиндра представимъ себѣ кубъ изъ абсолютно отражающихъ зеркалъ и допустимъ существованіе подобной же системы монохроматическихъ стоячихъ волнъ параллельныхъ *каждой* изъ трехъ основныхъ граней куба, то каждая изъ этихъ трехъ системъ представитъ собою 1/3 всей лучистой энергіи, заключенной въ кубѣ. Если будемъ измѣнять объемъ куба такъ, чтобы онъ оставался кубомъ (себѣ подобнымъ), то цвѣтъ всѣхъ волнъ будетъ измѣняться одинаково, а именно длина каждой волны будетъ измѣняться прямо-пропорціонально линейнымъ размѣрамъ куба или прямо-пропорціонально *кубичному корню* изъ его объема. Этотъ законъ измѣненія цвѣта лучей при „адіабатномъ" сжатіи или расширеніи лучистой энергіи былъ выведенъ В. Виномъ изъ принципа Допплера. Мы видимъ, что его можно, пожалуй, проще и нагляднѣе связать съ законами резонанса.

2) Вторымъ примѣромъ несовсѣмъ устойчиваго состоянія лучистой энергіи можетъ служить *вполнѣ разсѣянная монохроматическая радіація.* Если—по примѣру Кирхгоффа—считать возможнымъ, при термодинамическихъ разсужденіяхъ, допущеніе идеальныхъ, абсолютно-отражающихъ зеркалъ, то съ такимъ же правомъ—по примѣру В. Вина—слѣдуетъ считать мыслимыми *абсолютно-бѣлыя* поверхности, вполнѣ неправильно отражающія, т. е. разсѣвающія падающіе на нихъ лучи (по закону Ламберта).

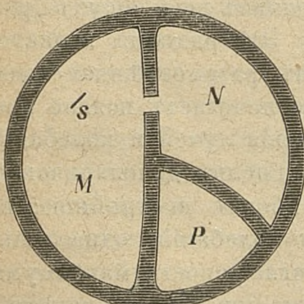
Представимъ себѣ замкнутый сосудъ, выложенный изнутри такими бѣлыми поверхностями; если впустить въ него монохроматическій лучъ, то онъ разсѣется и наполнитъ весь сосудъ „разсѣянною монохроматическою радіаціею". Эта радіація является уже значительно болѣе нестройною, чѣмъ разсмотрѣнная выше система параллельныхъ волнъ; здѣсь уже исчезаетъ всякое преобладаніе какого бы то ни было направленія лучей и колебаній: радіація является вполнѣ разсѣянною и вполнѣ деполяризованною; но она все-таки является еще не вполнѣ нестройною: въ ней господствуетъ лишь одинъ періодъ колебаній, одна длина волны. Поэтому энтропія еще не достигла своего максимума, и такая радіація еще находится въ термодинамически-неустойчивомъ состояніи. Достаточно ввести въ нашу идеально-бѣлую оболочку хотя бы малое *реальное* тѣло, имѣющее конечную лучепоглощательную и лучеиспускательную способности, чтобы монохроматичность нарушилась, появились разнообразные цвѣтные

лучи, и вся радіація стала приближаться къ тому вполнѣ нестройному состоянію, которое—согласно Кирхгоффу—неизбѣжно устанавливается во всякой дѣйствительной непрозрачной и замкнутой оболочкѣ, имѣющей соотвѣтственную температуру. Эта вполнѣ нестройная радіація, какъ увидимъ ниже, въ точности одинакова съ тою, какую даетъ „идеально-черное" тѣло той же температуры.

Для теоретическаго изученія характера этой вполнѣ нестройной радіаціи, вышеупомянутое реальное тѣло можно въ извѣстной степени замѣнить небольшимъ количествомъ идеальнаго газа, заключеннаго въ совершенно-прозрачную оболочку (какъ поступилъ В. Винъ) или даже просто однимъ очень малымъ электрическимъ резонаторомъ, т. е. идеальнымъ атомомъ (какъ поступилъ М. Планкъ). Способность этого резонатора тушить и вновь испускать извѣстныя колебанія достаточна для того, чтобы исчезла монохроматичность разсѣянной лучистой энергіи, чтобы появились всѣ возможные періоды колебаній, и чтобы въ нашемъ замкнутомъ пространствѣ установилось то вполнѣ нестройное распредѣленіе колебаній, которое—по второму закону термодинамики—является единственнымъ устойчивымъ.

3. *Вполнѣ нестройная радіація.*

Представимъ себѣ нѣкоторое непрозрачное (металлическое) тѣло (фиг. 1), всѣ точки котораго имѣютъ одну и ту же температуру T. Такое тѣло находится въ тепловомъ равновѣсіи, и—по второму закону термодинамики—равенство температуры различныхъ его частей *само собою* не можетъ нарушиться. Очевидно, что это равенство не должно нарушиться и въ томъ случаѣ, если тѣло наше будетъ заключать въ себѣ одну или нѣсколько замкнутыхъ пустыхъ полостей: M, N, P... Внутри этихъ полостей теплота, соотвѣтствующая температурѣ T, будетъ существовать лишь въ формѣ вполнѣ нестройной лучистой энергіи.



фиг. 1.

Эта лучистая энергія, какъ доказалъ Кирхгоффъ, обладаетъ слѣдующими свойствами:

1) Чрезъ каждую площадку s, взятую внутри полости, въ

обоихъ направленіяхъ проходитъ одинаковое количество лучистой энергіи, независимо отъ положенія площадки.

2) Ни одно направленіе колебаній не имѣетъ преимущества, т. е. нѣтъ поляризаціи.

3) Плотность лучистой энергіи (ψ), т. е. количество ея, заключенное въ каждой единицѣ объема, во всѣхъ полостяхъ одинакова и есть функція одной лишь температуры. Эта плотность не зависитъ ни отъ свойствъ внутреннихъ поверхностей нашихъ полостей, ни отъ ихъ формы и т. д. (Если-бы это условіе не было выполнено, то стоило бы только уничтожить стѣнку между двумя сосѣдними полостями, чтобы нарушить равновѣсіе температуръ; а это противорѣчило бы второму закону теоріи теплоты).

4) Составъ лучистой энергіи, распространяющейся по всѣмъ направленіямъ и во всѣхъ полостяхъ, одинаковъ. Подъ составомъ мы здѣсь разумѣемъ относительную интенсивность колебаній различныхъ періодовъ, т. е. распредѣленіе энергіи между лучами различнаго цвѣта. Это распредѣленіе зависитъ только отъ температуры T и не зависитъ отъ цвѣта и другихъ свойствъ внутреннихъ поверхностей. Если бы напр. въ полости M энергія, соотвѣтствующая длинѣ волны λ, была больше чѣмъ въ полости N, то стоило бы только закрыть отверстіе, соединяющее эти полости пластинкою, обладающею избирательною отражательною способностью и пропускающею эти лучи легче, чѣмъ другіе; этихъ лучей изъ M въ N прошло бы тогда больше, чѣмъ обратно, и равновѣсіе температуръ нарушилось бы, что опять противорѣчитъ второму закону термодинамики.

Изъ перечисленныхъ свойствъ нестройной радіаціи можно вывести основные законы лучеиспусканія твердыхъ тѣлъ.

Обозначимъ чрезъ E полное количество лучистой энергіи, проходящее въ единицу времени чрезъ любую единицу площади внутри нашей полости, съ одной стороны площадки на другую; въ противоположномъ направленіи (по пункту 1) будетъ проходить такое же количество. Обозначимъ e_λ ту долю энергіи E, которая соотвѣтствуетъ волнамъ, имѣющимъ длину волны $= \lambda$; тогда по опредѣленію

$$E = \int_0^\infty e_\lambda d\lambda. \tag{1}$$

Изъ положеній 3 и 4 слѣдуетъ, что E есть функція одной толь-

ко температуры, а e_λ — нѣкоторая вполнѣ опредѣленная функція температуры T и длины волны λ.

Возьмемъ единицу площади на любой части внутренней поверхности нашей замкнутой полости. По предыдущему на нее въ единицу времени падаетъ количество E нестройной лучистой энергіи. Изъ этой энергіи наша площадка поглощаетъ нѣкоторую часть, напр. AE, гдѣ A правильная дробь, которая называется *поглощательною способностью нашей площадки.* Но если бы наша площадка только поглощала лучистую энергію, то часть стѣнки, прилегающая къ ней, нагрѣвалась бы все больше и больше. Такъ какъ температура ея должна оставаться постоянною, то очевидно, что площадка вновь испускаетъ (въ единицу времени) количество лучистой энергіи J, въ точности равное поглощенному:

$$J = AE \quad \text{или} \quad \frac{J}{A} = E. \tag{2}$$

Это уравненіе и есть математическое выраженіе закона Кирхгоффа для полнаго лучеиспусканія. Если бы наша площадка поглощала *всѣ* безъ исключенія падающіе на нее лучи, т. е. была *идеально-черною,* то слѣдовало бы принять $A = 1$ и ур. (2) обратилось бы въ

$$J = E; \tag{3}$$

слѣд. лучеиспусканіе идеально-чернаго тѣла въ точности равно энергіи нестройной радіаціи, устанавливающейся самопроизвольно внутри всякой непрозрачной замкнутой оболочки той же температуры. Дѣйствительныя тѣла природы тѣмъ болѣе приближаются къ идеально-черному тѣлу, чѣмъ болѣе *нестройную* лучистую энергію они испускаютъ. Въ этомъ обстоятельствѣ, именно въ томъ, что функціи E и e_λ характеризуютъ собою наиболѣе нестройную, устойчивую форму лучистой энергіи, и кроется основаніе универсальнаго значенія этихъ двухъ функцій и самого закона Кирхгоффа.

4. *Законъ Стéфана.*

Значеніе лучеиспусканія E, какъ функціи одной лишь температуры, было впервые указано Стéфаномъ (Stefan) въ 1879 году. На основаніи опытныхъ данныхъ онъ высказалъ мнѣніе, что лучеиспусканіе чернаго тѣла прямо пропорціонально *четвертой* степени его абсолютной температуры T:

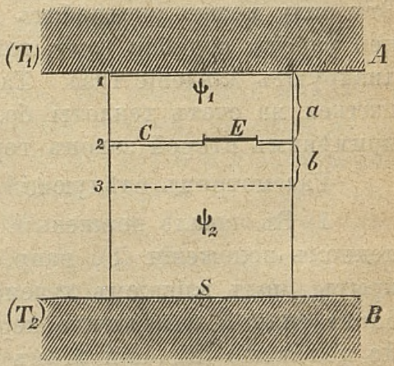
$$E = CT^4, \tag{4}$$

гдѣ C есть нѣкоторый постоянный множитель. Затѣмъ въ 1884 году Больцманъ получилъ то же самое соотношеніе изъ второго закона термодинамики и слѣдствій электромагнитной теоріи свѣта.

Выводъ Больцмана основывался на допущеніи существованія свѣтового давленія.

Такъ какъ въ настоящее время—благодаря новѣйшимъ замѣчательнымъ опытамъ П. Н. Лебедева [1])—существованіе этого давленія доказано и *экспериментально*, то выводы Больцмана, а также нѣкоторые изъ выводовъ В. Вина получаютъ новое и весьма прочное обоснованіе. Поэтому мы остановимся на нихъ нѣсколько подробнѣе.

Вообразимъ себѣ два непрозрачныхъ тѣла A и B (фиг. 2) значительной теплоемкости, поддерживаемыхъ при постоянныхъ температурахъ T_1 и T_2 (по абсолютной шкалѣ) и имѣющихъ конечныя лучеиспускательныя способности. Положимъ, что двѣ противолежащія, параллельныя части поверхностей этихъ тѣлъ *соединены* вполнѣ (разсѣянно) отражающимъ цилиндромъ. Внутри этого цилиндра безъ тренія ходитъ зеркальный поршень C, снабженный открывающимся клапаномъ E. Площадь сѣченія цилиндра и поршня обозначимъ чрезъ S. Пока клапанъ E закрытъ, вся верхняя часть цилиндра, прилегающая къ A, будетъ наполнена вполнѣ нестройною радіаціею, соотвѣтствующею температурѣ T_1; обозначимъ количество лучистой энергіи, заключающейся здѣсь въ каждой единицѣ объема, чрезъ ψ_1 (плотность нестройной лучистой энергіи). По другую сторону поршня, въ нижней части цилиндра будетъ распространена лучистая энергія, соотвѣтствующая температурѣ T_2 и имѣющая плотность ψ_2. Если $T_1 > T_2$, то и $\psi_1 > \psi_2$.



фиг. 2.

---

[1]) Журналъ Русскаго Физ.-Хим. Общества XXXII, (1900 г.), стр. 211.

По Максвеллю, Бартоли и Лебедеву параллельные лучи производятъ на перпендикулярную къ нимъ поглощающую пластинку давленіе, численно равное плотности ихъ лучистой энергіи. На пластинку вполнѣ зеркальную свѣтовое давленіе вдвое больше. Въ случаѣ наклонныхъ лучей всю лучистую энергію лучей слѣдуетъ разложить по правилу параллелограмма на слагающія перпендикулярныя и параллельныя пластинкѣ: свѣтовое давленіе будетъ равно плотности однѣхъ перпендикулярныхъ слагающихъ.

Въ нашемъ цилиндрѣ мы имѣемъ вполнѣ разсѣянную лучистую энергію: лучи падаютъ на поршень C подъ всевозможными углами. Но, какъ доказалъ Больцманъ, давленіе на поршень будетъ въ точности таково, какъ если бы 1/3 всей лучистой энергіи состояла изъ лучей перпендикулярныхъ къ поршню[1]. Изъ этой трети всей лучистой энергіи половина, т. е. $\psi_1/6$, будетъ въ каждое мгновеніе состоять изъ волнъ, идущихъ по направленію къ поршню, другая половина ($\psi_1/6$)—изъ волнъ отраженныхъ поршнемъ, идущихъ въ обратномъ направленіи. Очевидно, что полное давленіе, испытываемое поршнемъ (на единицу поверхности) сверху, будетъ $\psi_1/3$, а снизу $\psi_2/3$; вся сила свѣтового давленія, стремящаяся передвинуть поршень книзу, будетъ

$$F = \frac{S}{3}(\psi_1 - \psi_2). \tag{5}$$

Эту силу можно употребить для произведенія нѣкоторой внѣшней работы подобно тому, какъ въ тепловыхъ двигателяхъ утилизируютъ давленіе газа. Такъ какъ эта работа будетъ совершаться на счетъ теплоты болѣе нагрѣтаго тѣла A, то къ ней примѣнимъ второй законъ термодинамики.

Разсмотримъ слѣдующій замкнутый круговой процессъ.

1) Въ началѣ поршень C находится въ нѣкоторомъ опредѣленномъ положеніи (1), напр. у самаго тѣла A; клапанъ E закрытъ; подъ вліяніемъ лучеиспусканія отъ A поршень испытываетъ силу F и медленно передвигается внизъ на разстояніе a, до положенія (2); при этомъ у тѣла A заимствуется лучистой теплоты: для заполненія объема Sa—количество $Sa\psi_1$ и для совершенія работы свѣтового давленія — количество $Sa\psi_1/3$, т. е. всего

[1]) Разсужденіе совершенно аналогично тому, какимъ оправдывается гипотеза Крэнига въ кинетической теоріи газовъ.

$$Q_1 = \frac{4}{3} Sa\psi_1. \quad (6)$$

Во время этой же первой части процесса тѣло B получаетъ въ видѣ поглощенной лучистой энергіи количество теплоты

$$Q_2' = \frac{4}{3} Sa\psi_2. \quad (7)$$

Кромѣ того поршень отдаетъ внѣшнюю работу

$$W_1 = \frac{1}{3} Sa(\psi_1 - \psi_2). \quad (8)$$

2) Когда поршень достигъ положенія (2), мы вдвигаемъ въ то мѣсто, гдѣ онъ находился въ началѣ (1), напримѣръ у самаго тѣла A, идеально-бѣлую (разсѣянно-отражающую) ширму, вполнѣ отдѣляющую количество нестройной лучистой энергіи $Sa\psi_1$ отъ лучеиспускающаго тѣла A. Далѣе предполагаемъ, что эта лучистая энергія *адіабатно* расширяется, подвигая поршень C еще далѣе внизъ до положенія (3), при которомъ плотность энергіи въ верхней части цилиндра сдѣлается равною плотности въ нижней части, т. е. $= \psi_2$. Уменьшеніе плотности лучистой энергіи при ея адіабатномъ расширеніи происходитъ отъ двухъ причинъ: во-первыхъ отъ увеличенія объема, ею занимаемаго, во-вторыхъ отъ того, что часть нестройной лучистой энергіи превращается въ работу свѣтового давленія. Положимъ, что разстояніе между (2) и (3) положеніями поршня $= b$; новый объемъ, занятый лучистою энергіею плотности ψ_2, будетъ $= S(a+b)$ и все количество оставшейся надъ поршнемъ нестройной энергіи $= S(a+b)\psi_2$. Слѣдовательно количество лучистой энергіи, $Sa\psi_1 - S(a+b)\psi_2$, превращено въ работу. Съ другой стороны, если ψ_1 и ψ_2 разнятся между собою сравнительно немного, то мы можемъ принять въ первомъ приближеніи, что въ теченіе перемѣщенія b на поршень сверху дѣйствовало давленіе *въ среднемъ* $= (1/3).(\psi_1+\psi_2)/2$. Поэтому работа силы свѣтового давленія во время второй части процесса приблизительно должна выразиться чрезъ

$$\frac{1}{3}.Sb.\frac{\psi_1+\psi_2}{2} = \frac{1}{6} Sb(\psi_1+\psi_2),$$

а слѣдовательно—по закону сохраненія энергіи

(9) $$Sa\psi_1 - S(a+b)\psi_2 = \frac{1}{6}\,Sb(\psi_1+\psi_2).$$

Это уравненіе послужитъ намъ для опредѣленія величины b. Находимъ, что для того, чтобы плотность лучистой энергіи по обѣ стороны поршня сравнялась, необходимо его продвинуть (адіабатно) на разстояніе

(10) $$b = \frac{6a(\psi_1-\psi_2)}{\psi_1+7\psi_2}.$$

Во время этой второй части процесса тѣлу B была отдана лучистая теплота въ количествѣ

(11) $$Q_2'' = \frac{4}{3}\,Sb\psi_2.$$

3) Когда поршень C достигъ положенія (3), мы можемъ открыть клапанъ E, не нарушая при этомъ равновѣсія лучистой энергіи. Затѣмъ возвращаемъ поршень съ открытымъ клапаномъ E въ его первоначальное положеніе (1), для чего не потребуется никакой работы. Потомъ закрываемъ клапанъ E и удаляемъ вдвинутую зеркальную ширму. Послѣ этого вся система, очевидно, пришла опять въ свое первоначальное состояніе: циклъ замкнутъ. Такъ какъ весь процессъ обратимъ, то второй законъ термодинамики въ примѣненіи къ этому процессу долженъ выразиться равенствомъ

(12) $$\frac{T_1-T_2}{T_1} = \frac{Q_1-Q_2}{Q_1},$$

опредѣляющимъ „экономическій коэффиціентъ" нашего свѣтового двигателя: здѣсь Q_1 обозначаетъ всю теплоту, заимствованную отъ нагрѣвателя A, Q_2—всю теплоту, отданную холодильнику B, слѣдовательно по ур. (7) и (11):

(13) $$Q_2 = Q_2' + Q_2'' = \frac{4}{3}\,S(a+b)\psi_2.$$

Подставляя соотвѣтственныя величины въ ур. 12, получимъ:

$$\frac{T_1-T_2}{T_1} = \frac{a(\psi_1-\psi_2)-b\psi_2}{a\psi_1}$$

или вслѣдствіе соотношенія (10):

$$\frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{\psi_1 - \psi_2}{\psi_1} \cdot \frac{\psi_1 + \psi_2}{\psi_1 + 7\psi_2}. \tag{14}$$

Выше, при вычисленіи второй части работы свѣтового давленія, мы допустили, что ψ_1 лишь немногимъ больше ψ_2; въ такомъ случаѣ $(\psi_1 - \psi_2)/\psi_1$ есть небольшая правильная дробь; обозначимъ ее чрезъ x, т. е. положимъ

$$\frac{\psi_1 - \psi_2}{\psi_1} = x$$

откуда

$$\frac{\psi_2}{\psi_1} = 1 - x.$$

Подставляя это обозначеніе въ ур. (14) и дѣля числителя на знаменатель, получимъ:

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{8 - 9x + x^2}{8 - 7x} = 1 - \frac{1}{4}x - \frac{3}{32}x^2 - \cdots. \tag{15}$$

Выписанные здѣсь первые три члена ряда, расположеннаго по восходящимъ степенямъ x, представляютъ собою не что иное, какъ первые три члена разложенія по биному Ньютона величины

$$\sqrt[4]{1-x} = (1-x)^{\frac{1}{4}} = 1 - \frac{1}{4}x - \frac{3}{32}x^2 - \cdots. \tag{16}$$

Различіе этихъ двухъ рядовъ начинается только съ четвертаго члена и при маломъ x оказывается совершенно ничтожнымъ. Происходитъ эта разница исключительно отъ того, что при вычисленіи работы во второй стадіи нашего процесса мы приняли свѣтовое давленіе *въ среднемъ* $= (1/3)(\psi_1 + \psi_2)$, между тѣмъ какъ истинная средняя величина этого давленія отличается отъ средней ариѳметической на безконечно-малую величину высшаго порядка.

Сравнивая выраженія (15) и (16), получаемъ

$$\frac{T_2}{T_1} = \sqrt[4]{1-x} = \sqrt[4]{\frac{\psi_2}{\psi_1}}$$

или

$$\frac{\psi_2}{\psi_1} = \frac{T_2^4}{T_1^4}. \tag{17}$$

При выводѣ этого соотношенія было допущено, что ψ_2 мало раз-

нится отъ ψ_1, а слѣдовательно и T_2 близко къ T_1. Но обобщить этотъ выводъ на какія угодно температуры очевидно очень легко.

Если мы имѣемъ двѣ значительно разнящіяся температуры T_1 и T, и соотвѣтственныя имъ плотности нестройныхъ радіацій, ψ_1 и ψ, то между ними мы можемъ мысленно вставить сколько угодно *промежуточныхъ* температуръ $T_2, T_3, T_4, \ldots T_n$ и соотвѣтственныхъ имъ плотностей $\psi_2, \psi_3, \psi_4, \ldots \psi_n$. Сосѣднія плотности будутъ уже мало разниться одна отъ другой, и для нихъ по предыдущему можно доказать:

$$\frac{\psi_2}{\psi_1} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^4; \quad \frac{\psi_3}{\psi_2} = \left(\frac{T_3}{T_2}\right)^4; \quad \frac{\psi_4}{\psi_3} = \left(\frac{T_4}{T_3}\right)^4; \cdots \frac{\psi}{\psi_n} = \left(\frac{T}{T_n}\right)^4;$$

Перемножая всѣ эти пропорціи между собою, мы получимъ для какихъ угодно температуръ

$$\frac{\psi}{\psi_1} = \frac{T^4}{T_1^4}. \tag{18}$$

Плотности нестройныхъ радіацій ψ и ψ_1 прямо-пропорціональны лучеиспусканіямъ чернаго тѣла E и E_1 при температурахъ T и T_1 [1]), поэтому ур. 18 можно написать и въ видѣ

$$\frac{E}{E_1} = \frac{T^4}{T_1^4}$$

или вообще

$$E = CT^4, \tag{18'}$$

гдѣ C есть нѣкоторая вполнѣ опредѣленная постоянная величина. Если выражать T въ градусахъ абсолютной шкалы, E—въ gr.-cal./cm^2. sec., то по опытамъ Курльбаума (Kurlbaum)

$$C = 1.28 \, . \, 10^{-12} \, \frac{\text{gr.-cal}}{\text{cm}^2 \, . \, \text{sec.}} \tag{19}$$

Приведенный нами выводъ закона Стефана оказался бы, конечно, гораздо короче, если бы мы, слѣдуя Больцману, воспользовались интегральнымъ исчисленіемъ; но я хотѣлъ сдѣлать этотъ выводъ въ элементарной формѣ.

---

[1]) Именно, какъ сейчасъ увидимъ, нетрудно доказать, что $\psi = 4E/v$, гдѣ чрезъ v обозначена скорость свѣта.

5. *Соотношенія между е, Е и ф.*

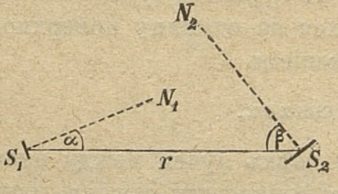
(Къ характеристикѣ вполнѣ разсѣянной лучистой энергіи).

Возьмемъ внутри замкнутой полости постоянной температуры двѣ очень малыхъ площадки S_1 и S_2 (фиг. 3) на разстояніи r одна отъ другой, причемъ r должно быть велико сравнительно съ линейными размѣрами каждой изъ площадокъ. Изъ всего количества $S_1 e$ лучистой энергіи, прошедшей чрезъ площадку S_1, только очень небольшая часть пройдетъ затѣмъ и чрезъ вторую площадку S_2. Обозначимъ эту часть лучистой энергіи чрезъ $S_1 \Delta e$. Эта величина прямо-пропорціональна площадямъ S_1 и S_2 и косинусамъ угловъ α и β, которые образуютъ нормали къ этимъ площадкамъ съ соединяющею ихъ прямою r; кромѣ того $S_1 \Delta e$ будетъ обратно-пропорціональна квадрату разстоянія r и прямо-пропорціональна нѣкоторому постоянному множителю E, который уже не зависитъ отъ величины и относительнаго положенія нашихъ площадокъ, но исключительно обусловливается энергіею разсматриваемой нестройной радіаціи:

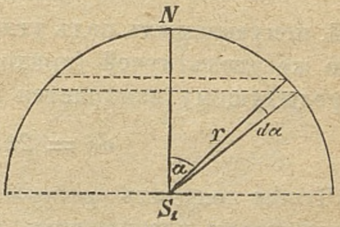
$$S_1 \Delta e = E \frac{S_1 S_2 \cos\alpha \cos\beta}{r^2}. \qquad (20)$$

Величина E называется *интенсивностью* разсматриваемой нестройной радіаціи.

Для нахожденія зависимости между E и величиною e, т. е. всею лучистою энергіею, проходящею чрезъ единицу площади



фиг. 3.



фиг. 4.

съ одной стороны на другую, опишемъ около средины площадки S_1 (фиг. 4) полусферу радіусомъ r. Площадь шароваго сегмента, на который будутъ падать лучи, прошедшіе чрезъ площадку S_1 подъ углами между α и $\alpha + d\alpha$, будетъ $= 2\pi r^2 \sin\alpha \, d\alpha$. Эту величину слѣдуетъ подставить въ ур. (20) вмѣсто S_2, чтобы получить всю лучистую энергію, проходящую чрезъ S_1 подъ угла-

ми между α и $\alpha+d\alpha$. При этомъ слѣдуетъ положить $\cos\beta=1$, такъ какъ за малостью площади S_1 можно принять, что всѣ исходящіе изъ нея лучи падаютъ на сферу перпендикулярно. Получимъ

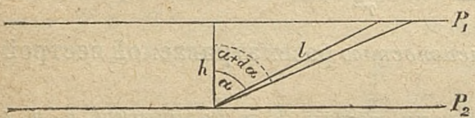
$$S_1 de = 2\pi E S_1 \sin\alpha \cos\alpha \, d\alpha.$$

Сокративъ на S_1 и распространивъ интегралъ на всю полусферу, имѣемъ

$$(21) \qquad e = \Sigma de = 2\pi E \int_0^{\pi/2} \sin\alpha \cos\alpha \, d\alpha = \pi E.$$

Итакъ Кирхгоффова функція e (лучеиспускательная способность идеально-чернаго тѣла) въ π разъ болѣе такъ называемой „интенсивности" нестройной радіаціи. Этотъ результатъ относится какъ къ полной радіаціи, такъ и къ каждому отдѣльному цвѣту.

Далѣе вообразимъ себѣ двѣ безконечно простирающіяся параллельныя черныя плоскости, поддерживаемыя при одной температурѣ. Нестройная радіація, между ними заключенная, будетъ совершенно такова, какъ и въ замкнутой полости. Если разстояніе между плоскостями $=h$, то длина всѣхъ лучей, испускаемыхъ подъ угломъ α къ нормали, будетъ $=h/\cos\alpha$. Число же этихъ лучей (приходящихся на единицу поверхности) по предыдущему измѣряется выраженіемъ



фиг. 5.

$$de = 2\pi E \sin\alpha \cos\alpha \, d\alpha.$$

Чтобы получить *среднюю длину* всѣхъ лучей между нашими параллельными плоскостями, нужно помножить каждую длину l на соотвѣтственное de, взять сумму такихъ произведеній для всѣхъ возможныхъ направленій и затѣмъ раздѣлить ее на общее число лучей, испускаемыхъ единицею поверхности, т. е. на πE. Получимъ

$$(22) \qquad l = \frac{1}{\pi E} \int_0^{\pi/2} 2\pi h E \sin\alpha \, d\alpha = 2h.$$

5. *Соотношенія между e, ε и ψ.*

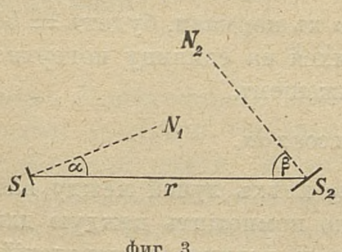
(Къ характеристикѣ вполнѣ разсѣянной лучистой энергіи).

Возьмемъ внутри замкнутой полости постоянной температуры двѣ очень малыя площадки S_1 и S_2 (фиг. 3) на разстояніи r одна отъ другой, причемъ r должно быть велико сравнительно съ линейными размѣрами каждой изъ площадокъ. Изъ всего количества $S_1 e$ лучистой энергіи, прошедшей чрезъ площадку S_1, только очень небольшая часть пройдетъ затѣмъ и чрезъ вторую площадку S_2; обозначимъ эту часть лучистой энергіи чрезъ $S_1 \Delta e$. Эта величина прямо-пропорціональна площадямъ S_1 и S_2 и косинусамъ угловъ α и β, которые образуютъ нормали къ нашимъ площадкамъ съ соединяющею ихъ прямою r; кромѣ того $S_1 \Delta e$ будетъ обратно-пропорціональна квадрату разстоянія r и прямо-пропорціональна нѣкоторому постоянному множителю ε, который уже не зависитъ отъ величины и относительнаго положенія нашихъ площадокъ, но исключительно обусловливается энергіею разсматриваемой нестройной радіаціи:

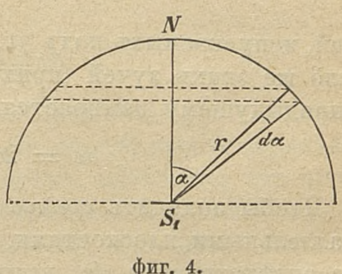
$$S_1 \Delta e = \varepsilon \frac{S_1 S_2 \cos\alpha \cos\beta}{r^2}. \tag{20}$$

Величина ε называется *интенсивностью* разсматриваемой нестройной радіаціи.

Для нахожденія зависимости между ε и величиною e, т. е. всею лучистою энергіею, проходящею чрезъ единицу площади



фиг. 3.



фиг. 4.

съ одной стороны на другую, опишемъ около средины площадки S_1 (фиг. 4) полусферу радіусомъ r. Площадь шарового сегмента, на который будутъ падать лучи, прошедшіе чрезъ площадку S_1 подъ углами между α и $\alpha + d\alpha$, будетъ $= 2\pi r^2 \sin\alpha\, d\alpha$. Эту величину слѣдуетъ подставить въ ур. (20) вмѣсто S_2, чтобы получить всю лучистую энергію, проходящую чрезъ S_1 подъ угла-

ми между α и $\alpha + d\alpha$. При этомъ слѣдуетъ положить $\cos\beta = 1$, такъ какъ за малостью площадки S_1 можно принять, что всѣ исходящіе изъ нея лучи падаютъ на сферу перпендикулярно. Получимъ

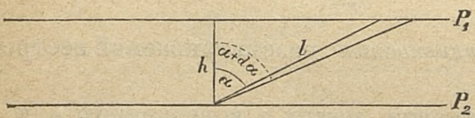
$$S_1 de = 2\pi\varepsilon S_1 \sin\alpha \cos\alpha \, d\alpha.$$

Сокративъ на S_1 и распространивъ интегралъ на всю полусферу имѣемъ

(21) $$e = \Sigma de = 2\pi\varepsilon \int_0^{\pi/2} \sin\alpha \cos\alpha \, d\alpha = \pi\varepsilon.$$

Итакъ Кирхгоффова функція e (лучеиспускательная способность идеально-чернаго тѣла) въ π разъ болѣе такъ называемой „интенсивности" нестройной радіаціи. Этотъ результатъ относится какъ къ полной радіаціи, такъ и къ каждому отдѣльному цвѣту.

Далѣе вообразимъ себѣ двѣ безконечно простирающіяся параллельныя черныя плоскости, поддерживаемыя при одной температурѣ. Нестройная радіація, между ними заключенная, будетъ совершенно такова, какъ и въ замкнутой полости. Если разстояніе между плоскостями $= h$, то длина всѣхъ лучей, испускаемыхъ подъ угломъ α къ нормали, будетъ $= h/\cos\alpha$. Число же этихъ лучей (приходящихся на единицу поверхности) по предыдущему измѣряется выраженіемъ



фиг. 5.

$$de = 2\pi\varepsilon \sin\alpha \cos\alpha \, d\alpha.$$

Чтобы получить *среднюю длину* всѣхъ лучей между нашими параллельными плоскостями, нужно помножить каждую длину l на соотвѣтственное de, взять сумму такихъ произведеній для всѣхъ возможныхъ направленій и затѣмъ раздѣлить ее на общее число лучей, испускаемыхъ единицею поверхности, т. е. на $\pi\varepsilon$ Получимъ

(22) $$l = \frac{1}{\pi\varepsilon} \int_0^{\pi/2} 2\pi h \varepsilon \sin\alpha \, d\alpha = 2h.$$

Итакъ *средняя длина пути* всѣхъ лучей между двумя параллельными черными плоскостями равна *двойному разстоянію этихъ плоскостей.* Если скорость свѣта $=$ v, то для прохожденія этого средняго пути потребуется время $2h/\mathrm{v}$. Въ теченіе этого времени каждая единица поверхности успѣетъ испустить $2he/\mathrm{v} = 2h\pi\varepsilon/\mathrm{v}$ единицъ лучистой энергіи. Такъ какъ и одна, и другая плоскости испускаютъ столько энергіи, что въ каждомъ цилиндрѣ, площадь основанія коего $= 1$, будетъ заключаться $4he/\mathrm{v}$ единицъ лучистой энергіи. Раздѣливъ это выраженіе на объемъ цилиндра h, получимъ плотность нестройной лучистой энергіи

$$\psi = \frac{4e}{\mathrm{v}} = \frac{4\pi\varepsilon}{\mathrm{v}}. \tag{23}$$

(Продолженіе слѣдуетъ).

Замѣтка о законѣ Допплера

Н. Н. Шиллера.

Вообразимъ себѣ, что каждой точкѣ данной среды возможно приписать нѣкоторую величину u, измѣняющуюся со временемъ. Пусть аналитическое выраженіе упомянутой величины дано въ видѣ

$$u = F(px - nt), \tag{1}$$

причемъ F обозначаетъ нѣкоторую произвольную однозначную функцію, x—длину, отсчитанную по опредѣленной прямой отъ опредѣленной точки (начала), t—время, протекшее отъ нѣкоторой опредѣленной эпохи до разсматриваемаго момента времени, p и n—двѣ постоянныя положительныя величины. Въ такомъ случаѣ формула (1) выражаетъ, что въ данный моментъ времени t состояніе среды, характеризуемое величиною u, является однимъ и тѣмъ же во всѣхъ точкахъ каждой плоскости, перпендикулярной къ направленію прямой x. Кромѣ того изъ форм. (1) видно, что состояніе u распространяется въ положительномъ направленіи x со скоростію, равною n/p. Дѣйствительно, для нѣкотораго момента времени t', слѣдующаго за моментомъ време-

ни t, величина u найдется въ такой плоскости, разстояніе коей x' отъ начала опредѣлится условіемъ: $px-nt=px'-nt'$, откуда

$$x'-x=\frac{n}{p}(t'-t), \tag{2}$$

т. е. длина $x'-x$, на которую перемѣстится состояніе u въ теченіе промежутка времени $t'-t$, есть та же самая, которая проходится въ то же время точкою, движущеюся равномѣрно со скоростію

$$\omega=\frac{n}{p}. \tag{3}$$

Видъ функціи F опредѣлится для всякихъ значеній ея аргумента $px-nt$, если этотъ видъ будетъ заданъ для какого-нибудь одного значенія аргумента; ибо видъ функціи не мѣняется съ измѣненіемъ аргумента [1]). Пусть, напримѣръ, будетъ задано, что въ плоскости $x=0$ происходятъ непрерывно измѣненія, выражаемыя функціею времени t:

$$\varphi\left(\frac{2\pi}{T}t\right), \tag{4}$$

причемъ функція φ періодическая, съ періодомъ 2π; т. е. съ измѣненіемъ аргумента $2\pi(t/T)$ упомянутой функціи на величину 2π или съ измѣненіемъ времени t на величину T, функція принимаетъ то же значеніе, какое она имѣла до упомянутаго измѣненія аргумента. Такого рода измѣненія величины u называются ея періодическими колебаніями, а T называется временемъ полнаго колебанія. На основаніи вышеприведеннаго заданія (4) мы должны имѣть то слѣдствіе, что $F(px-nt)$, при $x=0$, превратится въ $\varphi(2\pi t/T)$, т. е.

$$F(-nt)=\varphi\left(2\pi\frac{t}{T}\right). \tag{5}$$

Обозначивъ аргументъ функціи F чрезъ ζ, т. е. положивши $-nt=\zeta$, мы найдемъ, что

$$F(\zeta)=\varphi\left(-\frac{2\pi}{T}\frac{\zeta}{n}\right); \tag{6}$$

---

[1]) Конечно, внутри извѣстныхъ предѣловъ величины этого послѣдняго.

Итакъ *средняя длина пути* всѣхъ лучей между двумя параллельными черными плоскостями равна *двойному разстоянію этихъ плоскостей.* Если скорость свѣта $=$ v, то для прохожденія этого средняго пути потребуется время $2h/\mathrm{v}$. Въ теченіе этого времени каждая единица поверхности успѣетъ испустить $2he/\mathrm{v} = 2h\pi E/\mathrm{v}$ единицъ лучистой энергіи. Такъ какъ и одна и другая плоскости испускаютъ столько энергіи, что въ каждомъ цилиндрѣ, площадь основанія коего $= 1$, будетъ заключаться $4he/\mathrm{v}$ единицъ лучистой энергіи. Раздѣливъ это выраженіе на объемъ цилиндра h, получимъ плотность нестройной лучистой энергіи

$$\psi = \frac{4e}{\mathrm{v}} = \frac{4\pi E}{\mathrm{v}}. \tag{23}$$

(Продолженіе слѣдуетъ).

Замѣтка о законѣ Допплера

Н. Н. Шиллера.

Вообразимъ себѣ, что каждой точкѣ данной среды возможно приписать нѣкоторую величину u, измѣняющуюся со временемъ. Пусть аналитическое выраженіе упомянутой величины дано въ видѣ

$$u = F(px - nt), \tag{1}$$

причемъ F обозначаетъ нѣкоторую произвольную однозначную функцію, x—длину, отсчитанную по опредѣленной прямой отъ опредѣленной точки (начала), t—время, протекшее отъ нѣкоторой опредѣленной эпохи до разсматриваемаго момента времени, p и n — двѣ постоянныя положительныя величины. Въ такомъ случаѣ формула (1) выражаетъ, что въ данный моментъ времени t состояніе среды, характеризуемое величиною u, является однимъ и тѣмъ же во всѣхъ точкахъ каждой плоскости, перпендикулярной къ направленію прямой x. Кромѣ того изъ форм. (1) видно, что состояніе u распространяется въ положительномъ направленіи x со скоростію, равною n/p. Дѣйствительно, для нѣкотораго момента времени t', слѣдующаго за моментомъ време-

ни t, величина u найдется въ такой плоскости, разстояніе коей x' отъ начала опредѣлится условіемъ: $px-nt=px'-nt'$, откуда

$$x'-x=\frac{n}{p}(t'-t), \tag{2}$$

т. е. длина $x'-x$, на которую перемѣстится состояніе u въ теченіе промежутка времени $t'-t$, есть та же самая, которая проходится въ то же время точкою, движущеюся равномѣрно со скоростію

$$\omega=\frac{n}{p}. \tag{3}$$

Видъ функціи F опредѣлится для всякихъ значеній ея аргумента $px-nt$, если этотъ видъ будетъ заданъ для какого-нибудь одного значенія аргумента; ибо видъ функціи не мѣняется съ измѣненіемъ аргумента [1]). Пусть, напримѣръ, будетъ задано, что въ плоскости $x=0$ происходятъ непрерывно измѣненія, выражаемыя функціею времени t:

$$\varphi\left(\frac{2\pi}{T}t\right), \tag{4}$$

причемъ функція φ періодическая, съ періодомъ 2π; т. е. съ измѣненіемъ аргумента $2\pi(t/T)$ упомянутой функціи на величину 2π или съ измѣненіемъ времени t на величину T, функція принимаетъ то же значеніе, какое она имѣла до упомянутаго измѣненія аргумента. Такого рода измѣненія величины u называются ея періодическими колебаніями, а T называется временемъ полнаго колебанія. На основаніи вышеприведеннаго заданія (4), мы должны имѣть то слѣдствіе, что $F(px-nt)$, при $x=0$, превратится въ $\varphi(2\pi t/T)$, т. е.

$$F(-nt)=\varphi\left(2\pi\frac{t}{T}\right). \tag{5}$$

Обозначивъ аргументъ функціи F чрезъ ζ, т. е. положивши $-nt=\zeta$, мы найдемъ, что

$$F(\zeta)=\varphi\left(-\frac{2\pi}{T}\frac{\zeta}{n}\right); \tag{6}$$

---

[1]) Конечно, внутри извѣстныхъ предѣловъ величины этого послѣдняго.

а слѣдовательно, при $\zeta = px - nt$, вообще:

$$u = F(px-nt) = \varphi\left(-\frac{2\pi}{T}\,\frac{px-nt}{n}\right) = \varphi\left[\frac{2\pi}{T}\left(t-\frac{x}{\omega}\right)\right] \tag{7}$$

или, полагая

$$\omega T = \lambda, \tag{8}$$

при чемъ—по (3)—λ представляетъ ту длину, на которую распространится колебаніе во время T и которая называется длиною волны, мы будемъ имѣть:

$$u = \varphi\left[2\pi\left(\frac{t}{T}-\frac{x}{\lambda}\right)\right]. \tag{9}$$

Явленіе, заданное для $x = 0$ функціею (4), называется источникомъ колебаній, а явленіе, представляемое формулами (7) или (9),—распространеніемъ колебанія отъ даннаго неподвижнаго источника до плоскости x. Предположимъ теперь, что колебаніе, задаваемое формулою (4), должно быть пріурочено не къ одной неподвижной плоскости $x = 0$, а переносится равномѣрно по направленію x со скоростью v, т. е. что источникъ колебанія находится въ равномѣрномъ движеніи; въ такомъ случаѣ $F(px-nt)$ должна превращаться въ $\varphi(2\pi t/T)$ тогда, когда $x = vt$; т. е. должно быть:

$$F(pvt-nt) = \varphi\left(2\pi\frac{t}{T}\right). \tag{10}$$

Обозначивъ аргументъ функціи F чрезъ ζ, т. е. принявши $x = vt$ въ выраженіи $px-nt$ и положивши:

$$(pv-n)t = \zeta, \tag{11}$$

мы находимъ, что

$$F(\zeta) = \varphi\left(\frac{2\pi}{T}\,\frac{\zeta}{pv-n}\right), \tag{12}$$

и слѣдовательно вообще (такъ какъ $\zeta = px-nt$)

$$u = F(px-nt) = \varphi\left(\frac{2\pi}{T}\,\frac{x-\omega t}{v-\omega}\right) = \tag{13}$$

$$= \varphi\left[2\pi\left(\frac{t}{T(1-v/\omega)} - \frac{x}{\lambda - vT}\right)\right].$$

Сравнивая выраженія (9) и (13), мы замѣчаемъ, что въ случаѣ движенія источника колебанія по направленію къ плоскости x, которую мы назовемъ мѣстомъ наблюденія, въ этомъ мѣстѣ наблюденія происходитъ такое явленіе, какое случилось бы, если бы источникъ колебанія оставался неподвижнымъ, но время его колебанія было бы не T, а $T(1-v/\omega)$, и слѣдовательно число колебаній въ секунду было бы не $1/T = N$, а

$$N' = N \frac{\omega}{\omega - v}; \tag{14}$$

и длина волны была бы при этомъ не $\lambda = \omega T$, а

$$\lambda' = \lambda - vT = (\omega - v)\, T, \tag{15}$$

при чемъ произведеніе $\lambda' N'$, выражающее скорость распространенія колебанія, осталось бы по прежнему равнымъ ω.

Предположимъ теперь, что та часть среды, въ области коей находится мѣсто наблюденія, перемѣщается равномѣрно со скоростью w по направленію къ источнику колебанія, и предположимъ, что въ этой движущейся части среды возникаютъ какъ разъ тѣ колебанія, которыя совершаются въ частяхъ неподвижной среды, съ коими движущаяся часть въ данный моментъ времени приходитъ въ совпаденіе. Въ такомъ случаѣ x (положеніе мѣста наблюденія въ моментъ времени t) опредѣлится уравненіемъ

$$x = x_0 - wt, \tag{16}$$

въ которомъ x_0 обозначаетъ разстояніе движущейся плоскости отъ начала для момента времени $t = 0$. Для того, чтобы выразить колебаніе, происходящее въ подвижной плоскости для случая неподвижнаго источника колебанія, мы должны подставить значеніе (16) вмѣсто x въ формулу (9); тогда получимъ:

$$u = \varphi\left[2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x_0 - wt}{\lambda}\right)\right] = \varphi\left[2\pi\left(\frac{t}{T\omega/(\omega+w)} - \frac{x_0}{\lambda}\right)\right], \tag{17}$$

откуда видимъ, что въ плоскости, движущейся по направленію къ источнику колебанія, происходитъ такое явленіе, какъ если бы она была неподвижна, а время колебанія источника было бы не T, а $T\omega/(\omega+w)$, и слѣдовательно число колебаній въ секунду было бы не $1/T = N$, а

$$N' = N \frac{\omega + w}{\omega}; \tag{18}$$

скорость же распространенія колебаній была бы не $\omega = \lambda/T$, а

$$\omega' = \frac{\lambda}{T\omega/(\omega+w)} = \omega + w. \tag{19}$$

Въ случаѣ, если источникъ колебанія также движется на встрѣчу перемѣщающейся плоскости наблюденія, выраженіе (16) должно быть подставлено въ формулу (13), и мы получимъ:

$$u = \varphi\left[2\pi\left(\frac{t}{T}\,\frac{(\omega+w)}{(\omega-v)} - \frac{x_0}{\lambda - vT}\right)\right], \tag{20}$$

откуда видимъ, что, въ случаѣ движенія источника колебаній и плоскости наблюденія навстрѣчу другъ другу, въ послѣдней происходитъ такое явленіе, какъ если бы оба движущихся объекта были бы въ покоѣ, но число колебаній въ секунду при источникѣ колебаній было бы не N, а

$$N' = N\,\frac{\omega+w}{\omega-v}, \tag{21}$$

и колебанія распространялись бы не со скоростью ω, а со скоростью

$$\omega' = N'(\lambda - vT) = \omega + w. \tag{22}$$

Кіевъ, Мартъ 1901.

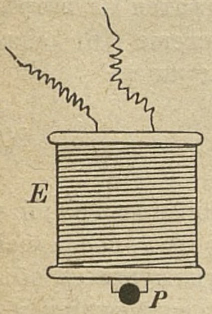
Телеграфонъ Поульсена

Ф. И. Ростовцева.

На всемірной выставкѣ прошлаго года всеобщее вниманіе было обращено на *телеграфонъ*, недавно изобрѣтенный датскимъ инженеромъ Поульсеномъ (Poulsen). Приборъ имѣетъ своимъ назначеніемъ во-первыхъ—на подобіе телеграфа—записывать рѣчь, а во-вторыхъ—на подобіе телефона—воспроизводить ее; такимъ образомъ телеграфонъ аналогиченъ фонографу Эдиссона и является ему опаснымъ конкурентомъ.

Сущность прибора очень простая и состоитъ въ слѣдующемъ. Вдоль стальной струны перемѣщается маленькій электро-

магнитъ E (фиг. 1), при чемъ его сердечникъ обхватываетъ проволоку, поперечное сѣченіе которой представлено чернымъ кружкомъ P. Пусть наша проволока вовсе не намагничена или же намагничена всюду равномѣрно, такъ что при движеніи по ней электромагнита, въ обмоткѣ послѣдняго не наводится тока. Соединимъ электромагнитъ съ микрофономъ и гальваническою батареею въ одну цѣпь и, производя передъ микрофономъ какіе-нибудь звуки, заставимъ электромагнитъ перемѣщаться вдоль струны. Звуковыя волны, падающія на микрофонъ, обусловливаютъ, какъ извѣстно, измѣненія электрическаго тока, обтекающаго электромагнитъ; магнитныя свойства послѣдняго будутъ слѣдовательно измѣняться во время его перемѣщенія вдоль струны и потому нашъ электромагнитъ будетъ различно намагничивать различныя мѣста струны; благодаря же задерживательной силѣ стали, это магнитное состояніе струны будетъ сохраняться неопредѣленно долгое время.



фиг. 1.

Соединивъ теперь въ одну цѣпь телефонъ и нашъ электромагнитъ, заставимъ послѣдній повторить предыдущее движеніе вдоль струны. Различныя точки струны будутъ при этомъ производить на сердечникъ электромагнита различныя намагничивающія дѣйствія и потому въ его обмоткѣ будутъ индуцироваться токи, которые приведутъ желѣзную пластинку телефона въ колебанія: въ телефонѣ мы услышимъ повтореніе звуковъ ранѣе произведенныхъ передъ микрофономъ.

Сколько бы разъ мы ни заставляли электромагнитъ повторять движеніе вдоль струны, каждый разъ мы услышимъ повтореніе тѣхъ же звуковъ и при томъ безъ всякаго ослабленія; значитъ на нашей струнѣ появляется достаточно прочная *фонограмма.* Эту фонограмму легко однако и уничтожить, стереть: стоитъ только электромагнитъ соединить съ батареею нѣсколько болѣе сильною, чѣмъ въ предыдущемъ опытѣ, и провести имъ опять вдоль струны; послѣдняя окажется повсюду намагниченною одинаково, и фонограмма „сотрется". Повторяя ранѣе описанную операцію, получаемъ новую фонограмму на той же струнѣ. Опытъ показываетъ, что для полученія новой фонограммы полезно брать токъ такого направленія, чтобы поляризація элек-

тромагнита была противоположна той, при которой совершалось уничтоженіе предыдущей фонограммы.

Повтореніе звуковъ, даваемое этимъ приборомъ, весьма совершенно: звукъ ясенъ и чистъ; онъ не сопровождается посторонними звуками (какъ въ фонографѣ Эдиссона); приборомъ повторяется не только сказанное или пропѣтое передъ микрофономъ, но даже шепотъ и звукъ дыханія.

Въ описанномъ приборѣ одинъ и тотъ же электромагнитъ или разные электромагниты исполняютъ различныя функціи: то дѣлаютъ запись на струнѣ, то воспроизводятъ эту запись, то стираютъ ее; въ виду этого мы будемъ различать электромагниты наименованіями: „пишущій", „читающій" и „стирающій" электромагниты.

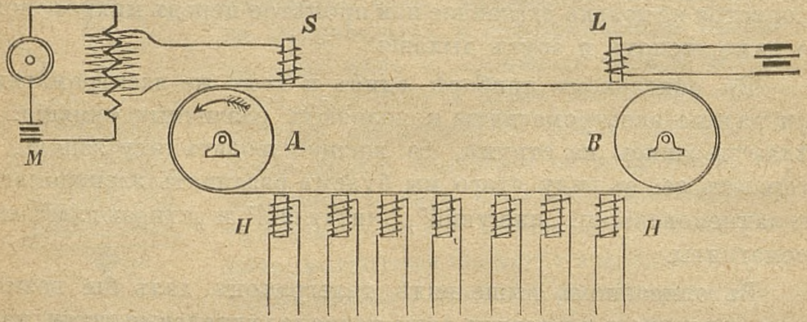
Въ описанномъ выше видѣ телеграфонъ далъ бы возможность записать и повторить лишь непродолжительные звуки, напр. только небольшое число словъ, такъ какъ неудобно брать слишкомъ длинную струну. Въ виду этого стальная струна (толщиною въ 3/4 mm.) навивается винтомъ на валъ, причемъ ходъ этого винта дѣлается по возможности малымъ (около 1 mm.); параллельно оси вала укрѣпляется стержень, вдоль котораго можетъ скользить коробка, несущая электромагнитъ. Такъ какъ полюсъ электромагнита обхватываетъ струну, то при вращеніи вала коробка съ электромагнитомъ будетъ перемѣщаться вдоль стержня, и электромагнитъ будетъ приходить въ соприкосновеніе съ различными точками струны. Для записи или повторенія звука при указанномъ теперь устройствѣ телеграфона, очевидно, достаточно вращать валъ опредѣленнымъ образомъ.

Нетрудно устроить телеграфонъ и такъ, чтобы повторяемый имъ звукъ одновременно воспринимался многими лицами. Для этого берутъ стальную безконечную ленту (3 mm. $\times$ 0·05 mm.) или струну и перекидываютъ ее чрезъ два вала A и B (фиг. 2); эту ленту—на подобіе бумажной ленты въ морзевскомъ аппаратѣ—можно свертывать съ одного вала и навивать на другой. При вращеніи валовъ лента приводится въ движеніе и послѣдовательно проходитъ мимо ряда электромагнитовъ: „пишущаго" S, соединеннаго съ микрофономъ M, и нѣсколькихъ „читающихъ" магнитовъ $H \dots H$, соединенныхъ со столькими же телефонами; кромѣ того имѣется еще „стирающій" магнитъ L.

При помощи телеграфона можно устроить родъ *телефонна-*

го реле, т. е. прибора, усиливающаго звуки, передаваемые телефономъ.

Такой приборъ состоитъ изъ ряда стальныхъ струнъ (или стальныхъ колецъ, надѣтыхъ на поверхность вращающагося ба-



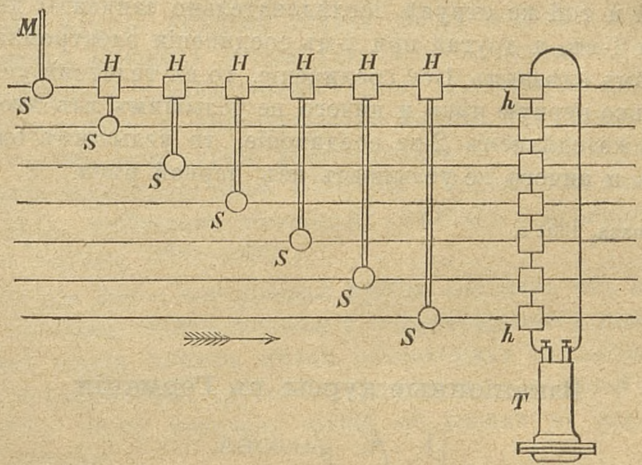
фиг. 2.

рабана) *A*, *B*, *C*, ... (фиг. 3); пишущій электромагнитъ *S* помѣщается надъ одною изъ этихъ струнъ, напр. надъ *A*, и соединенъ съ микрофономъ *M*; вслѣдъ за нимъ, надъ тою же струною помѣщены читающіе электромагниты *H* ... *H*, соединенные съ пишущими *S* ... *S*, изъ коихъ каждый расположенъ надъ одною изъ слѣдующихъ струнъ *B*, *C*, ...; наконецъ надъ проволоками расположенъ еще рядъ читающихъ электромагнитовъ *h* ... *h*, соединенныхъ вмѣстѣ съ телефономъ *T* въ одну цѣпь.

Представимъ себѣ теперь, что когда струны скользятъ въ микрофонъ *M* произносится рѣчь; первый электромагнитъ *S* записываетъ ее на струнѣ *A*; электромагниты *H* ... *H* прочитываютъ эту рѣчь и въ свою очередь—при помощи остальныхъ электромагнитовъ *S* ... *S*—записываютъ ее на струнахъ *B*, *C*, ...; а когда эти фонограммы проходятъ (соотвѣтствующими мѣстами одновременно) мимо электромагнитовъ *h* ... *h*, рѣчь прочитывается ими и воспроизводится въ телефонѣ *T* тѣмъ громче, чѣмъ больше число струнъ и число электромагнитовъ, совершенно подобно тому, какъ пѣніе хора тѣмъ громче, чѣмъ больше голосовъ. Когда записи не нужны болѣе, онѣ уничтожаются стирающими электромагнитами, которые не показаны на нашемъ чертежѣ.

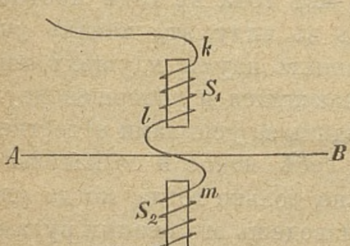
Педерсенъ изобрѣлъ такое приспособленіе, чтобы, записавъ на одной струнѣ телеграфона двѣ рѣчи, можно было каждую изъ нихъ слышать въ отдѣльности. Для этого около струны *AB*

(фиг. 4 и 5) ставятъ одинъ напротивъ другого два совершенно одинакихъ электромагнита S_1 и S_2, которые можно соединять последовательно двумя способами: 1) концы l и m обмотокъ соединя-

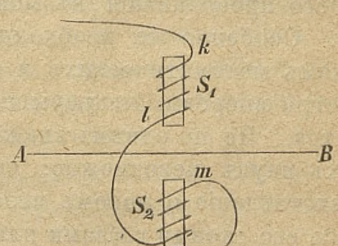


фиг. 3.

ются между собою, а концы k и n—съ остальною цѣпью (фиг. 4) или 2) концы l и n между собою, а концы k и m съ остальною



фиг. 4.



фиг. 5.

цѣпью (фиг. 5). Пусть при записыванiи рѣчи на струнѣ AB наши электромагниты S_1 и S_2 соединены по 1-му способу; если бы, оставивъ это 1-ое соединенiе электромагнитовъ, мы замѣнили микрофонъ телефономъ и заставили струну повторить свое прежнее движенiе (которое она совершала при записыванiи), то мы услыхали бы повторенiе произнесенной рѣчи; но представимъ себѣ, что мы замѣняемъ 1-ое соединенiе электромагнитовъ 2-мъ;

тогда при движеніи струны въ обмоткахъ электромагнитовъ наводятся такіе токи, которые взаимно уничтожаются въ цѣпи, и въ телефонѣ ничего не слышно. Теперь представимъ себѣ, что на одной и той же струнѣ послѣдовательно записаны двѣ рѣчи, одна при 1-мъ, а другая при 2-мъ соединеніи электромагнитовъ; если затѣмъ сдѣлаемъ 1-ое соединеніе, то въ телефонѣ услышимъ одну только первую рѣчь и ничего не услышимъ изъ второй рѣчи; если же сдѣлаемъ 2-ое соединеніе, то услышимъ одну вторую рѣчь и ничего не услышимъ изъ первой рѣчи.

Варшава, 1901 г.

Вакаціонные курсы въ Германіи

П. А. Зилова.

Если хотимъ учить, то должны сами учиться. Эта истина, которую хорошо знаетъ всякій преподаватель, не обращающій своего преподаванія въ монотонное изъ года въ годъ повтореніе. Особенно же необходимо имѣть въ виду эту истину учителямъ математическихъ и естественныхъ наукъ, идущихъ такъ быстро впередъ, непрерывно развивающихся и совершенствующихся. Но по однѣмъ книжкамъ слѣдить за успѣхами естественныхъ наукъ невозможно; составить себѣ ясное и сознательное представленіе о новомъ явленіи можно только тогда, когда увидишь его своими глазами или воспроизведешь его своими руками. Все это можно сдѣлать въ большомъ городѣ, гдѣ существуютъ библіотеки, гдѣ читаются публичныя лекціи, гдѣ имѣются лабораторіи и кабинеты. Но какъ быть учителю, заброшенному въ захолустье, лишенное всякихъ признаковъ культуры? Не долженъ ли онъ постепенно отставать отъ того уровня, на которомъ былъ въ началѣ своей дѣятельности, подъ обаяніемъ университетской атмосферы?

Въ Германіи давно сознано это больное мѣсто средней школы, и тамъ пришли на помощь учителю въ его трудномъ положеніи учрежденіемъ вакаціонныхъ курсовъ.

Уже давно при нѣмецкихъ университетахъ учреждены „повторительные курсы для врачей", на которыхъ излагаются новѣйшія успѣхи медицинскихъ наукъ; каждый военный врачъ разъ въ теченіе пяти лѣтъ получаетъ командировку на такой повторительный курсъ, который длится шесть недѣль. Лѣтъ десять тому назадъ возникла мысль устроить—на подобіе вышеупомянутыхъ курсовъ—„вакаціонные курсы" (Ferienkurse) для учителей математическихъ и естественныхъ наукъ. Въ теченіе девяностыхъ годовъ эти курсы выработались и вполнѣ упрочились. Пользуясь брошюрою проф. Швальбе [1], одного изъ иниціаторовъ этого дѣла, сообщаемъ нѣкоторыя свѣдѣнія о берлинскихъ курсахъ за періодъ 1890—1894 г.

Прежде всего вакаціонные курсы состоятъ изъ лекцій, которыя читаются спеціалистами и сопровождаются демонстраціями; однѣ лекціи имѣютъ цѣлью познакомить слушателей съ новѣйшими открытіями, другія—представить въ удобной формѣ уже извѣстное. Вотъ перечень лекцій по физикѣ за указанный періодъ времени.

1891 г. *проф. Кундтъ*—Сжиженіе газовъ; *проф. Кундтъ*—Явленія поляризаціи и двойного преломленія; *Аронсъ* — Новѣйшіе успѣхи въ области электричества (опыты Герца).

1892 г. *Люпке*—Способы полученія алюминія и его примѣненіе; проф. *Ландольтъ*—Новые способы полученія кислорода и озона; *Янъ*—Очеркъ теоріи электролитической диссоціаціи и новые способы опредѣленія частичнаго вѣса; *Фогель*—Новѣйшіе успѣхи въ фотохиміи; проф. *Бецольдъ*—Общая циркуляція атмосферы; проф. *Фёрстеръ*—Современное состояніе астрономіи.

1893 г. Проф. *Гельманъ*—Атмосферные осадки; *Блазіусъ*—Новѣйшія открытія въ области молекулярной физики; проф. *Слаби*—Изъ электротехники.

1894 г. *Рубенсъ*—Новѣйшіе опыты въ области электротехники; *Люпке*—Избранныя главы изъ теоріи и практики электрохиміи; проф. *Клейнъ*—Демонстрированіе оптическихъ свойствъ кристалловъ.

Кромѣ того читались лекціи по методикѣ предметовъ, преподаваемыхъ въ средней школѣ; по физикѣ подобныя лекціи чи-

---

[1]) Ueber naturwissenschaftliche Ferienkurse. Von Prof. Dr. *B. Schwalbe*, Direktor des Dorotheenstädtischen Realgymnasiums zu Berlin.

тались проф. Швальбе; при этомъ разсматривались различныя учебныя пособія, напр. учебники.

Въ дополненіе къ предыдущимъ лекціямъ производилось демонстрированіе школьныхъ опытовъ и приборовъ; такъ на курсѣ 1894 г. Dr. Шиманскій, помощникъ директора Ремесленной школы, показалъ цѣлый рядъ классныхъ опытовъ; всѣ они дѣлались съ простыми приборами и въ такой доступной формѣ, что учителя могли съ пользою повторять ихъ на своихъ урокахъ; тутъ же объяснялись нѣкоторые пріемы экспериментированія, облегчающіе производство опыта или обезпечивающіе его успѣхъ.

Учитель часто самъ вынужденъ приготовлять простѣйшіе приборы или по крайней мѣрѣ починять и приводить въ исправность снаряды. Въ виду этого при курсахъ устраивались практическія занятія по паянію, по клейкѣ, по обработкѣ стекла, пробки и каучука, по чисткѣ металловъ и стекла и т. п.

Приложенія науки къ практикѣ имѣютъ огромное педагогическое значеніе, наглядно поясняя значеніе самой науки; поэтому завѣдующіе курсами устраивали цѣлый рядъ экскурсій, руководимыхъ спеціалистами, которые давали при этомъ цѣнныя разъясненія и указанія. Цѣлью такихъ экскурсій были всѣ ученыя, учебныя, техническія и промышленныя учрежденія Берлина и его окрестностей.

Курсы открывались обыкновенно министромъ народнаго просвѣщенія. Курсы встрѣчали полное сочувствіе и содѣйствіе не только въ преподавательскомъ персоналѣ высшихъ школъ, но и въ представителяхъ тѣхъ учрежденій, которыя посѣщались участниками курсовъ. Въ теченіе курсовъ устанавливалась тѣсная связь между ихъ участниками и руководителями; происходилъ обмѣнъ мыслей по поводу видѣннаго и слышаннаго; учителя излагали свои нужды, а руководители старались ихъ удовлетворять. Все это дѣлаетъ вакаціонные курсы связующимъ звеномъ между университетомъ и среднею школою, что чрезвычайно желательно и обѣщаетъ многое въ будущемъ.

Хотя сказаннаго достаточно, чтобы вполнѣ оцѣнить значеніе нѣмецкихъ вакаціонныхъ курсовъ, но я хотѣлъ ближе ознакомить съ ними моихъ читателей и обратился въ Грейфсвальдъ къ проф. Рихарцу съ просьбою дать мнѣ для Физическаго Обозрѣнія свои лекціи, которыя онъ читалъ на вакаціонныхъ курсахъ прошлымъ лѣтомъ.

Проф. Рихарцъ очень любезно согласился исполнить мою просьбу; онъ поручилъ своему ассистенту Dr. Лейку записать свои лекціи и затѣмъ просмотрѣлъ ихъ. Такъ какъ первая изъ этихъ лекцій представляетъ лишь повтореніе того, что содержитъ приведенная нами раньше статья того же автора „Отношеніе электромагнитныхъ и электростатическихъ единицъ" [1]), то ниже приводятся только двѣ послѣднія лекціи (названныя у насъ первою и второю). Въ письмѣ проф. Рихарцъ замѣчаетъ, что за каждою лекціею слѣдовали трехчасовыя упражненія, на которыхъ слушатели сперва повторяли опыты, показанные на лекціи, а затѣмъ—подъ руководствомъ ассистента—дѣлали и нѣкоторые другіе. Приношу сердечную благодарность проф. Рихарцу и Dr. Лейку за ихъ любезность и содѣйствіе моему журналу, который для нихъ даже недоступенъ.

Основы электротехники

Ф. Рихарца [2]).

Лекція I.

Ознакомимся предварительно съ дѣйствіями электрическаго тока; начнемъ съ тепловыхъ дѣйствій.

Здѣсь довольно длинная желѣзная проволока, натянутая между двумя клеммами. Пропустимъ чрезъ нее электрическій токъ, сперва слабый, затѣмъ все болѣе и болѣе сильный. Теперь проволока начинаетъ, какъ видите, прогибаться; она нагрѣлась токомъ и вытянулась; теперь она начинаетъ накаливаться до-красна, до-желта, даже до-бѣла; наконецъ она сгораетъ, отдѣляя цѣлый снопъ искръ, и токъ прерывается. Если соединить концы перегорѣвшей проволоки, то она горитъ, отдѣляя обильныя искры и представляя блестящее свѣтовое явленіе.

---

[1]) См. стр. 123.

[2]) Переводъ съ нѣмецкаго по рукописи Dr. Лейка: Einleitung in der Elektrotechnik, Vorträge von Prof. Dr. *F. Richarz* (Greifswalder Ferienkurs von Jahre 1900).

Этимъ тепловымъ дѣйствіемъ электрическаго тока пользуются въ калильныхъ лампочкахъ для цѣлей освѣщенія. Но такой способъ пользованія этимъ нагрѣваніемъ, какой мы сейчасъ видѣли, непрактиченъ; во 1-хъ потому, что проволока перегораетъ, а во 2-хъ потому что, какъ показалъ опытъ, при данномъ токѣ тонкій уголекъ испускаетъ болѣе яркій свѣтъ, чѣмъ металлическая проволока. Для того, чтобы уголекъ не перегоралъ, его помѣщаютъ въ стеклянный резервуаръ, изъ котораго выкачиваютъ воздухъ; въ безвоздушномъ пространствѣ уголекъ можетъ только раскаливаться, но за недостаткомъ кислорода не можетъ сгорѣть.

Недавно одно старое открытіе сдѣлано вновь (это иногда случается!) и примѣнено къ устройству другого рода калильной лампы. Яблочковъ первый показалъ, что каолинъ и магнезія, плохо проводящіе токъ при обыкновенной температурѣ, будучи нагрѣты, обращаются въ хорошіе проводники; и если тогда чрезъ нихъ пропустить электрическій токъ, то они ярко свѣтятъ. На этомъ принципѣ Яблочковъ устроилъ лампу, которую даже патентировалъ; но она не нашла большого практическаго примѣненія. Въ послѣдніе годы проф. Нернстъ устроилъ подобную же лампу.

Здѣсь стоитъ лампа Яблочкова въ томъ видѣ, какъ она описана въ выданномъ ему патентѣ. Между полюсами большаго индуктора включена въ секундарную цѣпь бѣлая палочка магнезіи; если теперь индукторъ заставить дѣйствовать, то разрядъ не проходитъ чрезъ холодную и дурно проводящую палочку, но проскакиваетъ въ видѣ искръ по воздуху около его поверхности; мало-по-малу эти искры нагрѣваютъ палочку и тогда индуктивные токи начинаютъ проходить чрезъ нее; палочка при этомъ испускаетъ прекрасный бѣлый свѣтъ.

Третій родъ электрическаго освѣщенія представляетъ дуговая лампа. Въ цѣпь включаютъ два угля, которые сначала приводятъ въ соприкосновеніе одинъ съ другимъ, и затѣмъ, пустивши токъ, нѣсколько разводятъ; отъ этого токъ не прерывается: раскаленныя частицы съ конца одного угля устремляются на конецъ другого и такимъ образомъ электричество переносится по воздуху. Въ то время, какъ раскаленныя частицы угля проходятъ по воздуху, онѣ горятъ и испускаютъ яркій свѣтъ. Я покажу въ проекціи на бѣлый экранъ изображеніе обоихъ углей, чтобы вы ближе ознакомились съ образованіемъ и формою воль-

товой дуги (затемненіе и проектированіе углей). Вы видите разницу между обоими углями: одинъ имѣетъ на своемъ концѣ кратеръ, а другой заостреніе; кратеръ свѣтитъ всего ярче.

Вторая категорія дѣйствій, имѣющихъ важность съ технической точки зрѣнія, это химическія дѣйствія тока.

Если электрическій токъ проходитъ чрезъ проводящую жидкость, то послѣдняя разлагается на свои составныя части. Мы уже видѣли разложеніе подкисленной воды; она разлагается на свои составныя части—водородъ и кислородъ, смѣсь которыхъ образуетъ гремучій газъ. Если выдѣлить этотъ газъ чрезъ мыльную воду и образующіеся на ея поверхности пузырьки поджечь, то они взрываются съ оглушительнымъ шумомъ. Вы сами будете дѣлать эти опыты на практическихъ занятіяхъ.

Обратимся теперь къ другому опыту, къ электрическому разложенію или къ электролизу воднаго раствора сѣрнокаліевой соли (K_2SO_4); при этомъ на одномъ полюсѣ является калій и кромѣ того водородъ, а на другомъ H_2SO_4 и кромѣ того кислородъ. Кислородъ и водородъ опять выдѣляются изъ жидкости пузырьками, но нетрудно обнаружить, что въ жидкости имѣются K и H_2SO_4. Если къ нашему раствору K_2SO_4 прибавить немного раствора лакмуса, то близъ полюса, на которомъ выдѣляется H_2SO_4, жидкость краснѣетъ. Если перемѣнить направленіе тока, то на нашемъ полюсѣ будетъ выдѣляться K, который, соединяясь съ прежде выдѣленною здѣсь H_2SO_4, образуетъ опять K_2SO_4, вслѣдствіе чего красный цвѣтъ жидкости скоро исчезаетъ, и вмѣсто того онъ появляется у другого полюса. Сдѣлаемъ этотъ опытъ. Растворъ K_2SO_4 находится въ U-образной стеклянной трубкѣ; я замыкаю токъ, и вы видите какъ краснѣетъ жидкость въ правомъ колѣнѣ. Опытъ нарочно поставленъ просто, чтобы каждый могъ его повторить съ самыми ограниченными средствами.

Химическія дѣйствія тока имѣютъ многичисленныя примѣненія на практикѣ. Во-первыхъ при гальваническомъ серебреніи или золоченіи и вообще когда данный предметъ долженъ быть гальваническимъ путемъ покрытъ тонкимъ слоемъ металла. Для этой цѣли въ растворъ соли соотвѣтствующаго металла опускаютъ предметъ, соединяя его съ тѣмъ полюсомъ, на который осаждается выдѣляемый токомъ металлъ, и пропускаютъ не очень сильный токъ. Чрезъ нѣкоторое время вынимаютъ предметъ изъ ванны и промываютъ въ водѣ: предметъ покрытъ металлическимъ слоемъ. Здѣсь вы видите три сосуда, соединенные послѣдова-

тельно, въ которые — въ качествѣ полюсовъ, на коихъ осаждается металлъ — опущены полированныя латунныя пластинки; первый сосудъ содержитъ зеленую жидкость—растворъ сѣрноникелевой соли, второй наполненъ синею жидкостью—растворомъ мѣднаго купороса и третій безцвѣтною жидкостью—растворомъ цинковаго купороса; пропускаемъ токъ и получаемъ на латунныхъ пластинкахъ послѣдовательно слои никкеля, мѣди и цинка. Токъ долженъ быть замкнутъ около минуты, чтобы осажденные металлическіе слои были хорошо замѣтны. Если бы мы взяли болѣе сильный токъ, то потребовалось бы конечно меньшее время; но этого не слѣдуетъ дѣлать, ибо при слабомъ токѣ металлическій слой осаждается ровнѣе и прочнѣе. Я прерываю токъ и вы видите здѣсь блестящій слой никкеля, здѣсь ярко-красный осадокъ свѣжей мѣди, а на третьей пластинкѣ бѣлый слой цинка.

Другое примѣненіе химическаго дѣйствія тока мы встрѣчаемъ въ гальванопластикѣ, при помощи которой данный предметъ можно многократно воспроизводить. Возьмемъ напр. медаль и сдѣлаемъ ея отпечатокъ на воскѣ; этотъ отпечатокъ натремъ графитовымъ порошкомъ и затѣмъ повѣсимъ въ растворъ мѣднаго купороса на мѣсто прежней латунной пластинки. Если теперь пропустить электрическій токъ, то отпечатокъ покрывается слоемъ мѣди, который постепенно утолщается; чрезъ нѣкоторое время его можно отдѣлить отъ отпечатка и такимъ образомъ имѣть воспроизведеніе медали. Здѣсь вы имѣете цѣлый рядъ такихъ репродукцій, нѣкоторыя изъ которыхъ очень удачны. Такъ какъ подобное воспроизведеніе дѣлается нескоро, то я еще вчера началъ этотъ опытъ; на практическихъ занятіяхъ вы можете разобрать приборъ.

Прибавлю еще, что подобные химическіе процессы иногда происходятъ въ самихъ гальваническихъ элементахъ, напр. въ даніэлевскомъ элементѣ съ цинкомъ въ разбавленной H_2SO_4 и съ мѣдью въ растворѣ $CuSO_4$; токомъ элемента мѣдь выдѣляется изъ $CuSO_4$ и осаждается на мѣдной пластинкѣ; поэтому гальванопластику можно производить въ даніэлевскомъ элементѣ; для этого отпечатокъ погружаютъ въ растворъ мѣднаго купороса на мѣсто мѣднаго листа элемента и замыкаютъ цѣпь.

Химическія дѣйствія тока находятъ примѣненіе и въ аккумуляторахъ. Если пропускать токъ чрезъ растворъ кислоты или свинцовой соли, въ который опущены свинцовые электроды, то

у поверхности одной свинцовой пластинки будетъ отдѣляться кислородъ. Этотъ кислородъ соединяется со свинцомъ въ перекись свинца (PbO_2), покрывающую всю пластинку равномѣрнымъ слоемъ. Тогда аккумуляторъ *заряженъ*. Теперь мы имѣемъ двѣ пластинки: одну свинцовую и другую, покрытую перекисью свинца, т. е. двѣ пластинки различныхъ веществъ, погруженныя въ жидкость; это обыкновенный элементъ. Но такъ какъ таковымъ дѣлается нашъ приборъ только при помощи предварительно пропускаемаго тока, то его называютъ *вторичнымъ элементомъ*. При разряженіи такого аккумулятора перекись свинца превращается опять въ свинецъ, при чемъ токъ длится пока имѣется PbO_2, послѣ чего аккумуляторъ долженъ быть вновь заряженъ.

Все это можно показать на простомъ опытѣ. Здѣсь имѣемъ два сосуда съ подкисленною водою, въ которую опущены свинцовыя пластинки; въ теченіе нѣсколькихъ минутъ я пропускаю сильный токъ, который сопровождается обильнымъ выдѣленіемъ газовъ; въ цѣпь включенъ коммутаторъ, при помощи котораго токъ батареи можетъ быть прерванъ, и импровизированные аккумуляторы соединены съ маленькою калильною лампочкою. Лампочка при этомъ ярко вспыхиваетъ; но свѣтъ ея быстро ослабѣваетъ и скоро совсѣмъ тухнетъ. Нашъ аккумуляторъ разрядился. Я еще разъ повторяю опытъ, заставляя зарядный токъ дѣйствовать дольше; при перекладкѣ коммутатора лампочка тоже свѣтитъ болѣе продолжительное время.

Переходимъ теперь къ третьей категоріи дѣйствій электрическаго тока, которыя имѣютъ самыя важныя примѣненія въ техникѣ; это магнитныя дѣйствія. Мы уже знакомы съ нѣкоторыми изъ нихъ, именно съ отклоняющимъ дѣйствіемъ тока на магнитную стрѣлку; мы видѣли примѣненіе этихъ дѣйствій въ гальванометрахъ (стр. 127) и болѣе на нихъ не будемъ останавливаться, обратимся къ другимъ магнитнымъ дѣйствіямъ тока. Если стержень мягкаго желѣза обвить проволокою и пропустить по ней электрическій токъ, то желѣзо превращается въ сильный магнитъ. Образованный такимъ образомъ магнитъ называютъ *электромагнитомъ*. Понятно, что токъ не долженъ входить въ самый желѣзный сердечникъ; поэтому навитая на желѣзо проволока должна быть изолирована, т. е. окружена непроводящимъ веществомъ; въ качествѣ таковаго обыкновенно употребляютъ навощенную бумагу или еще лучше шелкъ. Понятно, что и от-

дѣльные обороты проволоки должны быть изолированы одинъ отъ другого; иначе электричество проходило бы ближайшимъ путемъ, произошло бы короткое замыканіе (Kurzschluss), и желѣзо не намагнитилось бы. Чѣмъ больше взять оборотовъ, тѣмъ — при данной величинѣ тока — вызываемая магнитность больше. Я покажу сначала какъ сильны бываютъ электромагниты и насколько они превосходятъ постоянные магниты: если къ подковообразному электромагниту поднести якорь съ тяжелымъ грузомъ, то онъ къ нему пристаетъ и не отрывается (слѣдуетъ опытъ).

Электромагнитъ имѣетъ многочисленныя примѣненія на практикѣ, изъ коихъ я могу привести лишь важнѣйшія; и на практическихъ занятіяхъ вы ознакомитесь съ нѣкоторыми изъ такихъ примѣненій. Прежде всего я назову *электрическій звонокъ*, въ которомъ электромагнитъ притягиваетъ молоточекъ къ колокольчику; этотъ молоточекъ имѣетъ особую конструкцію, изобрѣтенную одновременно Неефомъ и Вагнеромъ; подробности его устройства будутъ вамъ объяснены на практическихъ занятіяхъ. Устройство это таково, что когда молоточекъ ударяетъ въ колокольчикъ, онъ тотчасъ же оттягивается назадъ, затѣмъ опять ударяетъ колокольчикъ и т. д. Здѣсь я выставилъ полную модель электрическаго звонка, состоящую изъ сухого элемента, кнопки и приспособленія, при помощи котораго выскакиваетъ нумеръ комнаты. Послѣ, на практическихъ занятіяхъ, вы можете ближе ознакомиться съ этою моделью.

Второе примѣненіе, которое я вамъ покажу, это *электромагнитный телеграфъ*, употребляемый для большихъ разстояній. Токъ пропускаютъ чрезъ обороты электромагнита, который притягиваетъ къ себѣ рычагъ съ кусочкомъ желѣза и указателемъ (бумажный кружокъ) на одномъ концѣ; при размыканіи тока рычагъ самъ собою возвращается въ свое первоначальное положеніе. Тутъ выставлены двѣ полныя станціи. Нижній проводъ, который вы здѣсь видите, въ дѣйствительности замѣняется землею: обѣ станціи соединяются съ почвою проволоками, оканчивающимися большими металлическими листами; послѣднія зарываютъ въ сырую землю или еще лучше опускаютъ въ подпочвенную воду. Какъ скоро на станціи отправленія нажимаютъ ключъ, токъ замыкается во всей линіи и на станціи пріема электромагнитъ притягиваетъ къ себѣ рычагъ. Точно

также можно посылать знаки и со второй станціи на первую.

На практикѣ телеграфные апараты устроены нѣсколько иначе; чтобы вы могли познакомиться и съ ними, здѣсь выставленъ морзевскій телеграфъ. Въ немъ опять важнѣйшую часть составляетъ электромагнитъ, который притягиваетъ конецъ рычага, когда ключъ нажатъ; вы слышите всѣмъ знакомый стукъ молоточка объ электромагнитъ. Якорь снабженъ колесикомъ, ободокъ котораго всегда покрытъ чернилами; при каждомъ замыканіи тока это колесико прижимается къ бумажной лентѣ, которая—при помощи часового механизма—непрерывно протягивается передъ нимъ. Вслѣдствіе этого на бумажной лентѣ дѣлаются знаки короткіе или длинные—„точки" или „черточки", смотря потому на короткое или на болѣе продолжительное время замыкается токъ. Изъ такихъ черточекъ и точекъ составленъ весь алфавитъ. Я привожу въ дѣйствіе приборы и вы ясно видите запись на смотанной бумажной лентѣ.

Другое очень важное практическое приложеніе электромагнита мы встрѣчаемъ въ *телефонѣ;* но сегодня мы разсмотримъ телефонъ только въ качествѣ воспроизводителя звуковъ (говорящаго прибора); на слѣдующей лекціи мы его разсмотримъ и въ качествѣ пріемника звуковъ (слушающаго прибора); сегодня мы поставимъ телефонъ только на станціи, гдѣ слушаютъ, а на станціи, гдѣ говорятъ, помѣстимъ микрофонъ. Здѣсь мы имѣемъ разобранный экземпляръ телефона, конструкцію котораго вы потомъ можете видѣть во всѣхъ подробностяхъ. Существенныя части его суть слѣдующія: желѣзный стержень, на одномъ концѣ котораго намотана длинная и тонкая проволока; передъ нимъ помѣщена тонкая желѣзная пластинка; если по оборотамъ проволоки идетъ электрическій токъ, то желѣзный сердечникъ намагничивается и притягиваетъ къ себѣ пластинку; при ослабленіи тока или при его прерываніи, пластинка возвращается назадъ и т. д.; при колебаніяхъ тока пластинка приходитъ въ дрожанія, которыя передаются окружающему воздуху и ощущаются ухомъ, какъ звукъ. Но почему этотъ звукъ соотвѣтствуетъ тому, который произнесенъ въ приборъ на станціи отправленія? Для объясненія этого разсмотримъ подробнѣе микрофонъ. Онъ состоитъ изъ резонансоваго ящика съ находящеюся на немъ угольною пластинкою, которая соединена съ однимъ полюсомъ элемента; еще имѣется удобо-

подвижный рычажокъ съ угольнымъ остріемъ на концѣ, которымъ онъ слегка опирается въ угольную пластинку. Токъ, выйдя изъ элемента, проходитъ чрезъ угольную пластинку, рычажокъ, телефонъ и возвращается въ элементъ. Если теперь мы будемъ говорить вблизи ящика, то колебанія воздуха сообщаются его крышкѣ, что заставляетъ легко подвижный рычажокъ въ томъ же ритмѣ подниматься и опускаться. Данному тону соотвѣтствуетъ опредѣленное число колебаній въ секунду, напр. 400; если такой звукъ произносить вблизи микрофона, то рычажокъ 400 разъ въ секунду подбрасывается вверхъ и столько же разъ цѣпь размыкается или, если сотрясенія только измѣняютъ соприкосновеніе углей въ микрофонѣ, токъ въ цѣпи столь же часто ослабляется и усиливается. Вслѣдствіе этого и въ телефонѣ магнитность сердечника будетъ въ томъ же ритмѣ возрастать и убывать, а потому и желѣзная пластинка будетъ имъ 400 разъ въ сек. протягиваться и отпускаться. Эти колебанія пластинки сообщаются воздуху и вызываютъ въ немъ тотъ же тонъ, который былъ произнесенъ въ микрофонъ. Вы видите здѣсь такой микрофонъ; на его резонансовой доскѣ помѣщенъ хронометръ, громко отбивающій секунды; соединительныя проволоки идутъ чрезъ всю комнату къ телефону; потомъ вы можете убѣдиться, что въ телефонѣ отчетливо слышны удары часовъ.

Далѣе я покажу вамъ еще одно магнитное дѣйствіе: притяженіе соленоида. Явленіе очень интересно: если кусокъ мягкаго желѣза поднести къ проволочной спирали и замкнуть въ ней токъ, то желѣзо само собою устремляется въ спираль; если токъ прервать, то желѣзо падаетъ. (Опытъ). Этимъ притяженіемъ соленоида пользуются въ цѣломъ рядѣ приборовъ, между которыми прежде всего надо упомянуть о *соленоидальномъ амперметрѣ.* Особенность этого амперметра состоитъ въ томъ, что притяженіе тамъ не зависитъ отъ направленія тока въ спирали, тогда какъ въ обыкновенныхъ амперметрахъ магнитная стрѣлка отклоняется въ ту или другую сторону, смотря по направленію тока. Поэтому въ соленоидальныхъ амперметрахъ дѣленія шкалы дѣлаются отъ нуля въ одну сторону.

Послѣднее техническое примѣненіе электромагнитизма, о которомъ я хочу сказать, это—къ *электромагнитнымъ двигателямъ.* Разъясню принципъ устройства такого двигателя; при этомъ я буду имѣть въ виду устройство якоря Сименса. Меж-

ду полюсами неподвижнаго подковообразнаго магнита $N\ S$ помѣщается ⵋ-образный стержень изъ мягкаго желѣза, удобоподвижный около оси, которая проходитъ чрезъ его средину; этотъ стержень обмотанъ проволокою, по которой пускаютъ токъ; тогда якорь становится магнитомъ; вслѣдствіе этого онъ вращается: его сѣверный полюсъ становится противъ южнаго полюса неподвижнаго магнита; этимъ бы дѣло и кончилось; но токъ приводится къ якорю чрезъ особый коммутаторъ, надѣтый на его ось и который—при послѣднемъ положеніи якоря—обращаетъ направленіе тока и слѣд. перемагничиваетъ якорь, такъ что противъ сѣвернаго полюса неподвижнаго магнита образуется сѣверный полюсъ якоря; по инерціи подвижная часть переходитъ указанное положеніе, а затѣмъ отталкивается далѣе. Послѣ поворота на 180° коммутаторъ опять обращаетъ токъ и все повторяется снова. Я не буду описывать здѣсь устройства коммутатора; вы ознакомитесь съ нимъ на практическихъ занятіяхъ; я ограничусь лишь тѣмъ, что покажу приборъ въ дѣйствіи, пропустивъ чрезъ него токъ нашихъ аккумуляторовъ (опытъ).

На практикѣ въ качествѣ неподвижныхъ магнитовъ употребляютъ не стальные магниты, но гораздо болѣе сильные электромагниты, при чемъ тотъ же токъ, который проходитъ чрезъ удобовращаемый якорь, пропускается и чрезъ проволоку, обернутую вокругъ желѣзнаго сердечника неподвижнаго электромагнита. Здѣсь вы видите еще шкивъ, который при помощи шнура приводитъ въ движеніе какую-нибудь машину.

Тутъ я имѣю маленькую модель стараго электродвигателя, устроеннаго Якоби, нѣмца по рожденію и жившаго въ Петербургѣ. На этомъ приборѣ вы можете всего лучше видѣть устройство самодѣйствующаго коммутатора. Съ приборомъ соединена батарея аккумуляторовъ; какъ скоро я замыкаю токъ, приборъ приходитъ въ вращеніе. Въ сущности устройство здѣсь такое же, какъ и въ сименсевскомъ двигателѣ.

Лекція II.

Сегодня мы займемся обратными дѣйствіями магнитизма по отношенію къ электричеству, именно образованіемъ электрическихъ токовъ при помощи магнитизма. Такіе токи называются индуктивными токами; на нихъ основаны современныя динамомашины. Эти токи вызываются тѣмъ, что магнитность якоря то

усиливается, то уменьшается, что и вызываетъ токи въ обмоткѣ его сердечника. Если мы имѣемъ желѣзный сердечникъ, обмотанный проволокою (безъ тока), и возбуждаемъ въ этомъ сердечникѣ магнитизмъ, то въ обмоткѣ индуцируется токъ; и когда въ сердечникѣ исчезаетъ магнитизмъ, въ обмоткѣ опять индуцируется токъ; но этотъ второй токъ направленъ противоположно относительно перваго. Простымъ опытомъ можно показать, что это такъ. Для возбужденія магнитизма я воспользуюсь магнитнымъ вліяніемъ; беру кусокъ ненамагниченнаго желѣза и приближаю къ нему магнитъ; тогда желѣзо намагничивается при чемъ на его концѣ, ближайшемъ къ сѣверному полюсу магнита, появляется южный полюсъ и наоборотъ; если магнитъ удалить, то желѣзо размагничивается (опытъ).

Здѣсь мы имѣемъ кусокъ мягкаго желѣза, зажатый въ штативъ; оно не намагничено; поднесенные гвозди не притягиваются. Если же къ верхнему концу желѣза поднести магнитъ, то гвозди притягиваются; если магнитъ удалить, наведенный въ желѣзѣ магнитизмъ исчезаетъ, и гвозди падаютъ.

Если желѣзо обвито проволокою, то, намагничивая его приближеніемъ магнита, мы вызываемъ въ проволокѣ индуктивный токъ; удаленіемъ магнита и размагничиваніемъ желѣза мы вызываемъ въ проволокѣ индуктивный токъ противоположнаго направленія. Въ нашемъ опытѣ съ такими простыми приборами индуктивные токи очень слабы и для ихъ обнаруженія надо пользоваться чувствительнымъ гальванометромъ. Здѣсь имѣется проволочная спираль съ желѣзнымъ сердечникомъ, концы которой соединены съ чувствительнымъ зеркальнымъ гальванометромъ; на зеркальцо падаетъ пучокъ свѣтящихъ лучей, которые имъ отражаются на шкалу; съ приближеніемъ магнита къ сердечнику, свѣтлое пятно на шкалѣ отклоняется въ одну сторону, при удаленіи магнита, пятно отклоняется въ другую сторону (затемненіе комнаты и опытъ).

Такимъ образомъ мы доказали, что индукціею возбуждаются токи и именно тк. наз. перемѣнные токи. При приближеніи и при удаленіи магнита токи направляются одинъ разъ въ одну сторону, другой разъ въ противоположную; такіе токи, которые мѣняютъ свое направленіе, называются перемѣнными—въ противоположность постояннымъ токамъ, направленіе коихъ не мѣняется.

Существуютъ еще другіе случаи индукціи; но мы будемъ разсматривать только индукцію, обусловливаемую магнитизмомъ

и примѣнимъ ее сейчасъ къ телефону. Уже въ прошлой лекціи мы ознакомились съ телефономъ, какъ приборомъ, воспроизводящимъ звуки. Возможность вмѣсто микрофона употреблять телефонъ, въ который говорятъ, обусловливается дѣйствіемъ индуктивныхъ токовъ. Вы помните, что телефонъ состоитъ изъ магнита, передъ которымъ находится желѣзная пластинка; магнитъ окруженъ проволочною спиралью, отъ концовъ которой тянутся проводы къ слѣдующей станціи; пусть желѣзная пластинка помѣщается передъ сѣвернымъ полюсомъ магнита; тогда на обращенной къ нему сторонѣ пластинки, наводится южный полюсъ; если теперь пластинку нѣсколько вдавить, то ея южный полюсъ приблизится къ магниту и усиливаетъ его наведеніемъ; при этомъ въ окружающей спирали возникаетъ индуктивный токъ; если отпустить пластинку, она удаляется отъ магнита, наведенный въ немъ магнитизмъ исчезаетъ, и въ окружающей спирали возникаетъ индуктивный токъ противоположнаго направленія. Все это легко показать на опытѣ (затемненіе и наблюденіе отклоненій стрѣлки гальванометра).

Представимъ себѣ теперь, что мы говоримъ вблизи пластинки телефона; приведенный въ колебанія воздухъ періодически надавливаетъ на желѣзную пластинку, вслѣдствіе чего—подобно тому, какъ это мы сейчасъ видѣли — возникаютъ періодическіе токи, которые по соединительнымъ проводамъ передаются ко второму телефону и тамъ вызываютъ движенія пластинки совершенно также, какъ это дѣлаютъ колебанія тока, вызванныя дѣйствіемъ микрофона, о чемъ мы говорили въ прошлой лекціи. Замѣчательно, что слабыя колебанія желѣзной пластинки и малѣйшія оттѣнки, обусловливающіе тембръ, въ точности воспроизводятся перемѣнными токами телефона, которые приводятъ пластинку на станціи пріема въ совершенно такія же колебанія, какія—подъ дѣйствіемъ звуковъ—совершаетъ пластинка на станціи отправленія.

Болѣе сильные индуктивные токи можно вызвать при помощи магнито-электрической машины Штёрера; здѣсь стоитъ эта машина. Двѣ проволочныя катушки съ желѣзными сердечниками могутъ быть приведены во вращеніе около горизонтальной оси; при этомъ онѣ проходятъ передъ полюсами сильнаго магнита. Когда одна изъ катушекъ приближается къ сѣверному полюсу магнита, ея сердечникъ намагничивается и въ ней индуцируется токъ опредѣленнаго направленія; когда при даль-

нѣйшемъ вращеніи катушка приближается къ южному полюсу, то индуцируется токъ противоположнаго направленія. Если машину быстро вертѣть, то въ ней индуцируются токи достаточно сильные, чтобы производить замѣтныя физіологическія дѣйствія.

Обратимся теперь къ сименсовскому якорю, съ которымъ мы прежде познакомились, какъ съ электромагнитнымъ двигателемъ; но теперь разсмотримъ его въ качествѣ источника тока. Дѣйствіе его слѣдующее. Мы имѣемъ неподвижный магнитъ; между его полюсами якорь, чрезъ который однако мы не пропускаемъ теперь тока, но концы обмотки этого якоря соединяемъ съ чувствительнымъ гальванометромъ. Приведемъ якорь во вращеніе; какъ скоро онъ станетъ полярно (т. е. однимъ концомъ противъ сѣвернаго полюса неподвижнаго магнита, а другимъ противъ южнаго), то въ обмоткѣ якоря индуцируется токъ; при повертываніи на 90°, якорь размагничивается; вслѣдствіе этого опять индуцируется токъ противоположнаго направленія (затемненіе комнатъ и опытъ). При дальнѣйшемъ вращеніи періодическія намагниченія и размагниченія якоря непрерывно вызываютъ перемѣнные токи.

Эти перемѣнные токи можно очень просто — при помощи самодѣйствующаго коммутатора—сдѣлать постоянными во внѣшней цѣпи; я не буду останавливаться на устройствѣ этого коммутатора; замѣчу только, что это тотъ же самый, который, когда мы употребляли приборъ въ качествѣ двигателя, позволялъ токъ отъ внѣшняго источника пропускать чрезъ якорь то въ одномъ, то въ другомъ направленіи.

До сихъ поръ мы принимали, что неподвижные магниты, суть постоянные магниты, приготовленные изъ стали, какъ въ машинѣ Штёрера. Но къ устройству этой машины можно примѣнить иной принципъ, такъ наз. *динамо-электрическій принципъ*, честь изобрѣтенія котораго принадлежитъ Вернеру Сименсу. Вы уже знаете, что электромагниты значительно сильнѣе, чѣмъ равной величины стальные магниты. Примемъ, что въ машинѣ съ сименсовскимъ якоремъ неподвижныя части состоятъ изъ электромагнита, т. е. изъ желѣзныхъ сердечниковъ, обмотанныхъ проволокою. Геніальная мысль Сименса состоитъ въ томъ, чтобы токи, индуцируемые въ якорѣ, пропускать и чрезъ обмотку электромагнитовъ. Вслѣдствіе этого машина дѣйствуетъ слѣдующимъ образомъ: въ желѣзныхъ сердечникахъ всегда имѣется

слабый остаточный магнитизмъ; при вращеніи якоря въ немъ наводятся токи, хотя сначала и очень слабые; эти токи проходятъ чрезъ обмотки электромагнитовъ и усиливаютъ ихъ магнитизмъ; вслѣдствіе этого во вращающемся якорѣ наводится бóльшая магнитность и индуцируются болѣе сильные токи; проходя по обмоткѣ электро-магнита, они усиливаютъ его магнитизмъ. Такъ продолжается дѣло до тѣхъ поръ, пока неподвижныя части не намагнитятся до насыщенія; тогда и индуктивные токи такъ сильны, какъ только возможно при данной величинѣ машины. Въ этомъ и состоитъ динамо-электрическій принципъ. Онъ примѣняется и къ другимъ машинамъ; здѣсь напр. вы видите машину, въ которой вращающаяся часть образована кольцомъ Грамма.

Я бы хотѣлъ еще показать вамъ, какимъ образомъ и при какихъ условіяхъ дѣйствіе машины само собою усиливается. Для этой цѣли я сдѣлаю вамъ слѣдующій опытъ. Токъ этой динамо-машины пропускается сперва чрезъ обороты электромагнитовъ, и усиливаетъ ихъ магнитность, а затѣмъ пропускается по внѣшней цѣпи, въ которую можно ввести какой-нибудь пріемникъ, напр. калильную лампочку. Теперь мы будемъ употреблять только чрезвычайно слабый токъ, ослабляя его введеніемъ въ цѣпь вольтметра, состоящаго изъ многочисленныхъ оборотовъ проволоки большого сопротивленія; тогда и магнитность неподвижныхъ частей очень слаба, а потому и постепенное самоусиленіе машины не имѣетъ мѣста. Когда я привожу машину въ дѣйствіе, вольтметръ показываетъ лишь 2 volt. Введемъ теперь въ цѣпь калильную лампочку: она засвѣтитъ и въ то же время стрѣлка вольтметра отклоняется много дальше 2 volt. Отсюда видно, что пока токъ не совершаетъ полезнаго дѣйствія, магнитизмъ машины не усиливается самъ собою.

На примѣрѣ сименсовскаго якоря мы видѣли, что одна и та же машина можетъ служить и двигателемъ (если пропускать чрезъ нее внѣшній токъ) и генераторомъ т. е. источникомъ тока (если ее вертѣть при помощи внѣшней силы). Здѣсь двѣ машины; одну изъ нихъ (съ граммовскимъ кольцомъ) мы уже употребляли, другая съ якоремъ Гефнера-Альтенека; послѣдняя при вращеніи даетъ токъ, въ чемъ легко убѣдиться изъ того, что она засвѣчиваетъ лампочку (опытъ). Теперь я сдѣлаю слѣдующее: токъ гефнеровской машины пропущу не чрезъ лампочку, а чрезъ другую динамо-машину; вы видите, что якорь второй ма-

шины начинаетъ вертѣться, что станетъ совершенно понятнымъ, если вспомнить, что сименсовскій якорь можетъ служить и двигателемъ и генераторомъ. Можно сдѣлать обратный опытъ: я вращаю вторую машину и тотчасъ же начинаетъ вертѣться якорь гефнеровской машины. Слѣд. каждая изъ двухъ машинъ можетъ играть роль генератора или двигателя. На этомъ основывается такъ наз. *принципъ передачи работы.* Пусть въ одномъ мѣстѣ силою напр. падающей воды приводится въ дѣйствіе генераторъ; вызванный токъ проводится по проволокамь въ другое мѣсто и здѣсь приводитъ въ дѣйствіе двигатель. Слѣд. работою, производимою въ одномъ мѣстѣ, можно воспользоваться въ другомъ.

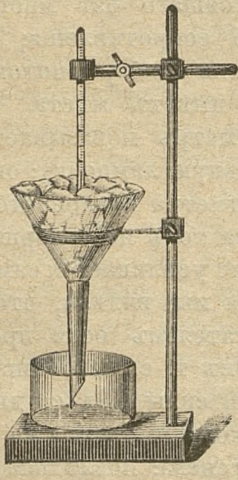
Практическая физика въ средней школѣ

Ф. И. Ростовцева [1]).

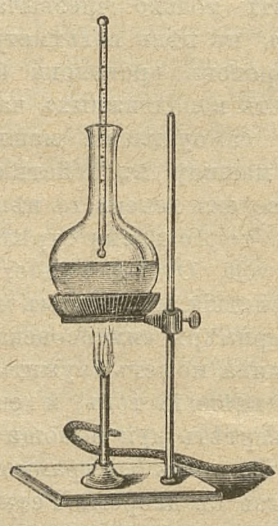
IV. Задачи по теплотѣ.

28) *Провѣрить точку „0" термометра.*

Приборы. Термометръ, воронка, штативъ, стаканъ и запасъ снѣга или льда въ мелкихъ кускахъ.



фиг. 14.



фиг. 15.

Опытъ. На штативѣ (фиг. 14) укрѣпляютъ воронку; въ томъ

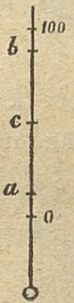
[1]) Продолженіе. См. стр. 154

же штативѣ закрѣпляютъ и испытуемый термометръ, опустивъ его резервуаръ внутрь воронки; резервуаръ обкладываютъ кусками тающаго льда (вода, образующаяся отъ таянія, стекаетъ въ подставленный стаканъ). Минутъ чрезъ 15 отмѣчаютъ показаніе термометра и такимъ образомъ находятъ поправку на „0".

29) *Провѣрить точку „100" термометра.*

Приборы. Термометръ, колба съ водою, горѣлка и барометръ.

Опытъ. На кольцо штатива (фиг. 15) ставятъ колбу съ водою, подложивъ подъ нее кусокъ азбеста или металлической сѣтки (или же плоскую чашку съ пескомъ). Термометръ укрѣпляютъ въ томъ же штативѣ такъ, чтобы его резервуаръ находился внутри колбы въ нѣкоторомъ разстояніи (2 cm.) отъ поверхности воды. Горѣлкою подогрѣваютъ колбу до кипѣнія воды. Минутъ чрезъ 15 послѣ того, какъ закипитъ вода, отсчитываютъ показаніе термометра. Истинную температуру кипѣнія находятъ изъ таблицъ по давленію атмосферы въ данный моментъ (для чего во время опыта отсчитываютъ барометръ).



фиг. 16.

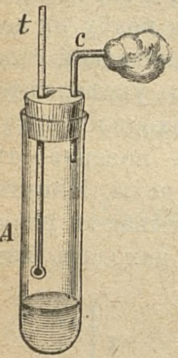
Зная обѣ поправки термометра, можно правильно оцѣнивать его показанія. Пусть въ тающемъ льдѣ ртутный столбикъ останавливается противъ дѣленія a (фиг. 16), а въ парахъ кипящей воды—противъ дѣленія b; такъ какъ первое дѣленіе соотвѣтствуетъ температурѣ 0^o, а второе температурѣ, опредѣляемой по таблицамъ, напр. n^o, то мы знаемъ, что между этими дѣленіями помѣщается n градусовъ, а потому легко можемъ найти термометрическое значеніе одного дѣленія, именно $n/(a-b)$. Если теперь мы сдѣлаемъ отсчетъ c, то онъ ошибоченъ по двумъ причинамъ. Во 1-хъ нулевое дѣленіе термометра не совпадаетъ съ 0^o и потому изъ c надо вычесть a дѣленій; такимъ образомъ искомая температура опредѣляется $c-a$ дѣленіями нашего термометра. Во 2-хъ каждое дѣленіе термометра соотвѣтствуетъ не одному градусу, а $n/(a-b)$ градусамъ; на это число и надо помножить нашъ исправленный отсчетъ. Такимъ образомъ искомая температура будетъ

$$t = n\,\frac{c-a}{b-a}$$

30) *Опредѣлить температуру кипѣнія данной жидкости.*

Приборы. Пробирка около 25 mm. въ діаметрѣ, закрываемая пробкою съ двумя отверстіями; термометръ; стаканъ; штативъ; горѣлка и барометръ.

Опытъ. Наливаютъ въ пробирку *A* (фиг. 17) около 15 кубич. центим. испытуемой жидкости, въ которую (для непрерывности кипѣнія) всыпаютъ небольшіе кусочки стекла или комочки станіоля. Пробирку закрываютъ пробкою съ двумя отверстіями; въ одно изъ нихъ вводятъ термометръ *t* такъ, чтобы его резервуаръ находился немного выше уровня жидкости; въ другое отверстіе вставляютъ согнутую подъ прямымъ угломъ стеклянную трубку *c*. Пробирку погружаютъ въ стаканъ съ водою или льнянымъ масломъ, который постепенно нагрѣваютъ до кипѣнія испытуемой жидкости. Когда испытуемая жидкость закипитъ и паръ начнетъ выходить наружу чрезъ трубку *c*, отсчитываютъ показаніе термометра и высоту барометра.



фиг. 17.

Примѣчаніе. Легко воспламеняющіяся жидкости надо помѣщать такъ, чтобы паръ ихъ былъ въ значительномъ разстояніи отъ огня.

31) *Опредѣлить температуру плавленія даннаго тѣла.*

Приборы. Термометръ, стеклянный тонкостѣнный стаканъ; тонкостѣнная стеклянная капиллярная трубочка (около 1 mm. внутренняго діаметра); желѣзный штативъ; песочная ванна и горѣлка.

Опытъ. Въ подходящемъ сосудѣ расплавляютъ немного парафина, воска или другого легкоплавкаго вещества и наполняютъ имъ часть капиллярной трубочки посредствомъ всасыванія; затѣмъ конецъ этой трубочки запаиваютъ на газовой горѣлкѣ. Такимъ образомъ приготовленную трубочку привязываютъ къ термометру. Вносятъ термометръ съ трубочкою въ узкій стаканъ, наполненный водою, который ставятъ въ песочную ванну, и подогрѣваютъ послѣднюю горѣлкою. Когда вода (которую постоянно перемѣшиваютъ) нагрѣется до температуры плавленія испытуемаго вещества, послѣднее дѣлается прозрачнымъ. Если затѣмъ станемъ ванну и испытуемое вещество

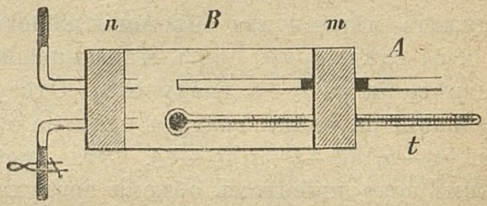


фиг. 18.

постепенно охлаждать, то въ извѣстный моментъ послѣднее отвердѣваетъ и дѣлается непрозрачнымъ. Отмѣчаютъ температуру какъ въ моментъ проясненія трубочки съ испытуемымъ веществомъ (при нагрѣваніи), такъ и въ моментъ ея помутнѣнія (при охлажденіи); среднее изъ этихъ двухъ отсчетовъ и дастъ искомую температуру плавленія.

32) *Опредѣлить видимый термическій коэффиціентъ объема воздуха.*

Приборы. Стеклянная цилиндрическая трубочка A (фиг. 19) въ 1 mm. діаметра и въ 25 cm. длины, запаянная съ одного конца; стеклянный цилиндръ B центиметровъ 30 длины и 3 cm. въ діаметрѣ, закрытый съ обоихъ концовъ пробками m и n; штативъ, термометръ, циркуль, трансверсальный масштабъ и запасъ холодной и кипящей воды.



фиг. 19.

Опытъ. Измѣряютъ длину (L) трубочки A и вводятъ въ нее столбикъ ртути длиною въ 10 mm. (нагрѣваютъ трубочку и, опустивъ открытый ея конецъ въ сосудъ со ртутью, даютъ ей охладиться, причемъ внутрь трубочки войдетъ столбикъ ртути); затѣмъ трубочку поднимаютъ, и столбикъ ртути—при дальнѣйшемъ охлажденіи—продвинется внутрь трубочки; въ послѣдней получится столбъ воздуха, отдѣленный отъ внѣшняго пространства ртутною пробкою. Измѣряютъ длину (l) ртутнаго столбика и помѣщаютъ трубочку A въ цилиндръ B, просовывая ее чрезъ отверстіе въ пробкѣ m; въ другое же отверстіе этой пробки вставляютъ термометръ t. Въ отверстіе другой пробки n вставляютъ короткія стеклянныя трубки для привода и отвода воды или пара; одна изъ нихъ съ каучукомъ и зажимомъ. Укрѣпляютъ приборъ въ горизонтальномъ положеніи въ штативѣ, и наполняютъ цилиндръ B холодною водою. Когда установится температура въ приборѣ, ее отсчитываютъ по термометру и измѣряютъ—при помощи циркуля и масштаба (зад. 7)—разстояніе наружнаго (праваго) конца ртутнаго столбика отъ свободнаго (праваго) конца трубочки A. Вдвигая трубочку A въ цилиндръ B или выдвигая, устанавливаютъ ее всегда такъ, чтобы наружный конецъ ртутнаго столбика былъ наравнѣ съ наружною поверхностью

пробки m (тогда воздухъ въ трубочкѣ всюду будетъ нагрѣтъ до одной температуры). Если чрезъ a_1 назовемъ разстоянiе между правыми концами ртутной пробки и трубочки, то $L-l-a_1$ будетъ длина столба воздуха въ трубочкѣ A при данной температурѣ t_1. Замѣняютъ теперь холодную воду въ цилиндрѣ B паромъ кипящей воды и выжидаютъ, когда температура прибора сдѣлается постоянною. Опять отсчитываютъ температуру t_2 по термометру и измѣряютъ разстоянiе a_2 между правыми концами ртутной пробки и трубочки A; понятно, что $L-l-a_2$ будетъ длиною того же столба воздуха при температурѣ t_2. Допуская, что при этихъ незначительныхъ измѣненiяхъ температуры емкость стекляной трубочки A не измѣняется, мы можемъ сказать, что $L-l-a_1$ и $L-l-a_2$ служатъ мѣрами для объемовъ нашего воздуха при температурѣ t_1 и t_2; слѣд. a_2-a_1 есть мѣра расширенiя нашего воздуха при нагрѣванiи на t_2-t_1 градусовъ. Отсюда находимъ, что при нагрѣванiи на одинъ градусъ единица объема воздуха расширяется на $(a_2-a_1)/(L-l-a_1)(t_2-t_1)$. Эта дробь и называется термическимъ коэффицiентомъ объема воздуха.

33) *Опредѣлить теплоемкость даннаго тѣла.*

Приборы. Калориметръ (латунный или жестяной сосудъ емкостью въ 1/2 литра); термометръ; вѣсы и разновѣски.

Опытъ. Въ сосудъ наливаютъ воду (до 2/3); испытуемое тѣло (въ видѣ мелкихъ кусковъ, напр. гвозди или дробь) помѣщаютъ въ пробирку; послѣднюю на 1/4 часа погружаютъ въ кипящую воду, температуру которой опредѣляютъ термометромъ; затѣмъ пробирку вынимаютъ изъ воды и содержимое быстро пересыпаютъ въ калориметръ; перемѣшавъ термометромъ воду въ калориметрѣ, наблюдаютъ происходящее при этомъ повышенiе температуры.

Назовемъ M_1 теплоемкость калориметра, M_2— теплоемкость даннаго тѣла; t_1 температуру калориметра до начала опыта, t_2— его температуру въ концѣ опыта и θ температуру тѣла въ началѣ опыта. Въ теченiе опыта тѣло теряетъ въ калориметръ $M_2(\theta-t_2)$ граммокалорiй тепла, а калориметръ получаетъ изъ тѣла $M_1(t_2-t_1)$ граммокалорiй; слѣд.

$$M_2(\theta-t_2)=M_1(t_2-t_1);$$

такъ какъ M_1 дано, а t_1, t_2 и θ опредѣляются изъ опыта, то можно вычислить и M_2.

Если хотимъ знать удѣльную теплоту c, то достаточно предыдущаго опыта, но надо еще знать массу тѣла m_2; тогда

$M_2 = cm_2$ и изъ предыдущаго уравненія, которое теперь обращается въ

$$cm_2(\theta - t_2) = M_1(t_2 - t_1),$$

можно вычислить c по остальнымъ извѣстнымъ величинамъ.

Теплоемкость калориметра опредѣляется такъ: назовемъ c_1 удѣльную теплоту вещества, изъ котораго сдѣланъ сосудъ, m_1 — его массу, m — массу воды, налитой въ сосудъ; тогда $M_1 = c_1 m_1 + m$.

Для опредѣленія удѣльной теплоты вещества сосуда дѣлается вышеописанный опытъ съ тѣломъ того же самаго вещества, какъ и калориметръ; тогда предыдущая формула обращается въ

$$cm_2(\theta - t_2) = (cm_1 + m)(t_2 - t_1);$$

отсюда, опредѣливъ m, m_1 и m_2 при помощи вѣсовъ, t, t_1 и t_2 — термометромъ, можно вычислить c.

34) *Опредѣлить теплоту таянія льда.*

Приборы. Калориметръ (сосудъ извѣстной теплоемкости), термометръ, запасъ теплой воды (около 70° Ц.) и чистаго льда въ небольшихъ кускахъ.

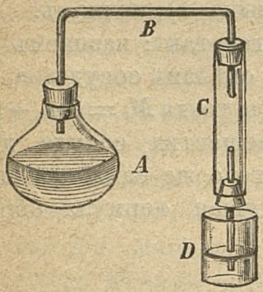
Опытъ. Въ калориметръ наливаютъ теплой воды (около 500 gr.); теплоемкость этого калориметра назовемъ M_1; отмѣчаютъ его температуру (t_1), затѣмъ въ калориметръ бросаютъ мелкіе куски льда (предварительно обтеревъ ихъ пропускною бумагою), массу котораго обозначимъ m_2 (около 200 gr.). Перемѣшивая воду въ калориметрѣ, выжидаютъ, пока весь ледъ не растаетъ, и тогда отмѣчаютъ температуру (t_2) калориметра. Въ этомъ опытѣ калориметръ теряетъ теплоту $M_1(t_1 - t_2)$. Одна часть этой теплоты тратится на то, чтобы ледъ перевести въ воду той же температуры; эта часть $= m_2 L$, гдѣ L теплота таянія льда; другая часть теплоты калориметра идетъ на нагрѣванія отъ 0° до t^0 той воды, которая получилась отъ растаявшаго льда; это теплота $= m_2 t_2$. Слѣд. мы можемъ написать:

$$m_2 L + m_2 t_2 = M_1(t_1 - t_2).$$

35) *Опредѣлить теплоту испаренія воды.*

Приборы. Колба съ короткою шейкою (около одного литра вмѣстимости), закрытая пробкою, чрезъ которую проходитъ П-образная трубка; калориметръ, термометръ, барометръ, штативъ и горѣлка.

Опытъ. Колбу A (фиг. 20) съ водою укрѣпляютъ въ штативѣ и нагрѣваютъ до кипѣнія воды; температуру отдѣляющихся паровъ опредѣляютъ по высотѣ барометра въ данный моментъ. Когда пары настолько сильно будутъ выходить изъ трубки и согрѣютъ ее такъ, что она станетъ сухою, конецъ трубки опускаютъ въ воду калориметра D, масса котораго вмѣстѣ съ водою опредѣлена заранѣе. Перемѣшиваютъ воду калориметра термометромъ и наблюдаютъ температуру ея. Когда она поднимется градусовъ на 20, быстро удаляютъ калориметръ и записываютъ температуру воды въ этотъ моментъ. Взвѣшиваютъ вторично калориметръ; разность массъ его въ этихъ двухъ взвѣшиваніяхъ даетъ массу осѣвшаго въ немъ пара.



фиг. 20.

Если назовемъ M_1 теплоемкость калориметра, L—теплоту испаренія воды, m—массу осѣвшаго въ калориметрѣ пара, t_1—начальную и t_2—окончательную температуру калориметра, θ—температуру кипѣнія воды, то можемъ написать:

$$Lm + m(\theta - t_2) = M(t_2 - t_1).$$

Отсюда вычисляемъ L, такъ какъ всѣ остальныя величины извѣстны.

V. Задачи по магнитизму.

36) *Взаимодѣйствія магнитныхъ полюсовъ.*

Приборы. Сильный магнитъ; двѣ вязальныя стальныя спицы; бумажное стремячко, подвѣшенное при помощи шелковинки на деревянномъ штативѣ.

Опытъ. Однимъ концомъ магнита натираютъ вязальную спицу, проводя (въ одномъ направленіи) по ней магнитомъ нѣсколько разъ. Погрузивъ затѣмъ спицу въ желѣзныя опилки, убѣждаемся, что она намагничена. Изъ намагниченной спицы устраиваютъ горизонтальную магнитную стрѣлку; для этого верхній конецъ некрученой шелковинки привязываютъ къ деревянной

перекладинѣ штатива, а къ нижнему концу прикрѣпляютъ небольшой кусочекъ пробки, чрезъ которую протыкаютъ спицу и продѣваютъ ее до середины. Такая стрѣлка принимаетъ вполнѣ опредѣленное положеніе равновѣсія, направляясь съ сѣвера на югъ; конецъ стрѣлки, обращенный къ сѣверу (ея „сѣверный полюсъ"), отмѣчаютъ чернилами.

Такимъ же образомъ приготовляютъ магнитъ и изъ второй спицы.

Одну изъ спицъ подвѣшиваютъ, а другую берутъ въ руки. Приближая къ одному концу подвѣшеннаго магнита тотъ или другой конецъ второго магнита, изслѣдовать какія взаимодѣйствія происходятъ между одноименными и между разноименными магнитными полюсами.

Для опредѣленія каковъ данный магнитный полюсъ (сѣверный или южный) слѣдуетъ его приблизить къ сѣверному полюсу стрѣлки; если послѣдній будетъ отталкиваться, то испытуемый полюсъ сѣверный.

Изслѣдовать подобнымъ же образомъ какіе полюсы получаются на концахъ спицы, гдѣ натираніе сѣвернымъ полюсомъ начиналось и гдѣ оно оканчивалось.

Подобнымъ же образомъ убѣдиться, что, разламывая намагниченную спицу, на вновь образующихся концахъ получаемъ противоположные полюсы и при томъ такіе, что въ каждомъ кускѣ спицы имѣются сѣверный и южный полюсы.

37) *Опредѣлить разстояніе между полюсами магнита.*

Приборы. Магнитъ; листъ бумаги; небольшая магнитная стрѣлка, вращающаяся на вертикальной оси; нѣсколько большихъ булавокъ; карандашъ; линейка; трансверсальный масштабъ и циркуль.

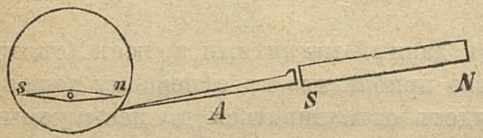
Опытъ. На листѣ бумаги кладутъ магнитъ такъ, чтобы его ось лежала въ плоскости магнитнаго меридіана и сѣверный его полюсъ былъ бы обращенъ на сѣверъ. Вблизи этого полюса по какую-либо сторону отъ магнита помѣщаютъ маленькую магнитную стрѣлку; она направится такъ, что вертикальная плоскость, проведенная чрезъ ея полюсы, пройдетъ чрезъ сѣверный полюсъ магнита. Направленіе этой плоскости отмѣчаютъ на бумагѣ, втыкая вертикально булавки какъ разъ противъ концовъ стрѣлки, и затѣмъ чрезъ отмѣченныя булавками точки проводятъ карандашомъ прямую линію. То же повторяютъ, перенеся стрѣлку на другую сторону магнита; пересѣченіе этихъ прямыхъ дастъ

точку, надъ которою находится сѣверный полюсъ магнита. Подобнымъ же образомъ на бумагѣ находятъ точку, надъ которою помѣщается южный полюсъ магнита. Разстояніе между этими точками и будетъ искомымъ разстояніемъ между полюсами даннаго магнита. При помощи циркуля и масштаба измѣряютъ это разстояніе (см. задачу 7).

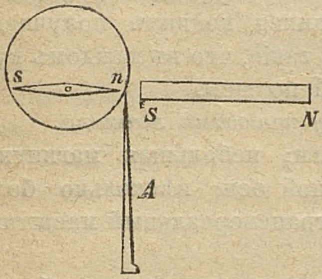
38) *Изслѣдовать явленіе магнитной индукціи.*

Приборы. Сильный магнитъ, брусокъ мягкаго желѣза и горизонтальная магнитная стрѣлка.

Опытъ. Въ горизонтальной плоскости на одномъ уровнѣ съ магнитною стрѣлкою *ns* (фиг. 21), накрытой стеклянымъ стаканомъ, располагаютъ желѣзный брусокъ *A* такъ, чтобы одинъ его конецъ былъ недалеко отъ полюса стрѣлки; къ другому концу желѣза приближаютъ полюсъ магнита *NS*; тогда желѣзо притягиваетъ или отталкиваетъ полюсъ. Перемѣняютъ полюсъ магнита и опять отмѣчаютъ дѣйствіе желѣза на стрѣлку. Изъ подобныхъ опытовъ заключаютъ, что вслѣдствіе магнитнаго наведенія въ желѣзѣ на концѣ, удаленномъ отъ наводящаго полюса, развивается полюсъ одноименный съ послѣднимъ.



фиг. 21.



фиг. 22.

Помѣщаютъ на нѣкоторомъ разстояніи отъ полюса стрѣлки *ns* (фиг. 22) противоположный полюсъ магнита *NS*; когда стрѣлка придетъ въ равновѣсіе, помѣщаютъ желѣзный брусокъ *A*, какъ показано на чертежѣ; желѣзо отталкиваетъ отъ себя стрѣлку; слѣдовательно въ ближайшихъ къ наводящему полюсу частяхъ желѣза развивается противоположный ему полюсъ.

(Продолженіе слѣдуетъ).